MAX

3 B

NOVA

VWO|GYMNASIUM

Natuurkunde



NAAM EN KLAS:

MALMBERG



3 VWO|GYMNASIUM

Natuurkunde

Auteurs
F. Alkemade
F. Kan
L. Lenders
S. Michon
F. Molin
R. Tromp
P. Verhagen

Eindredactie
C. Biemans

MAX Release 2020

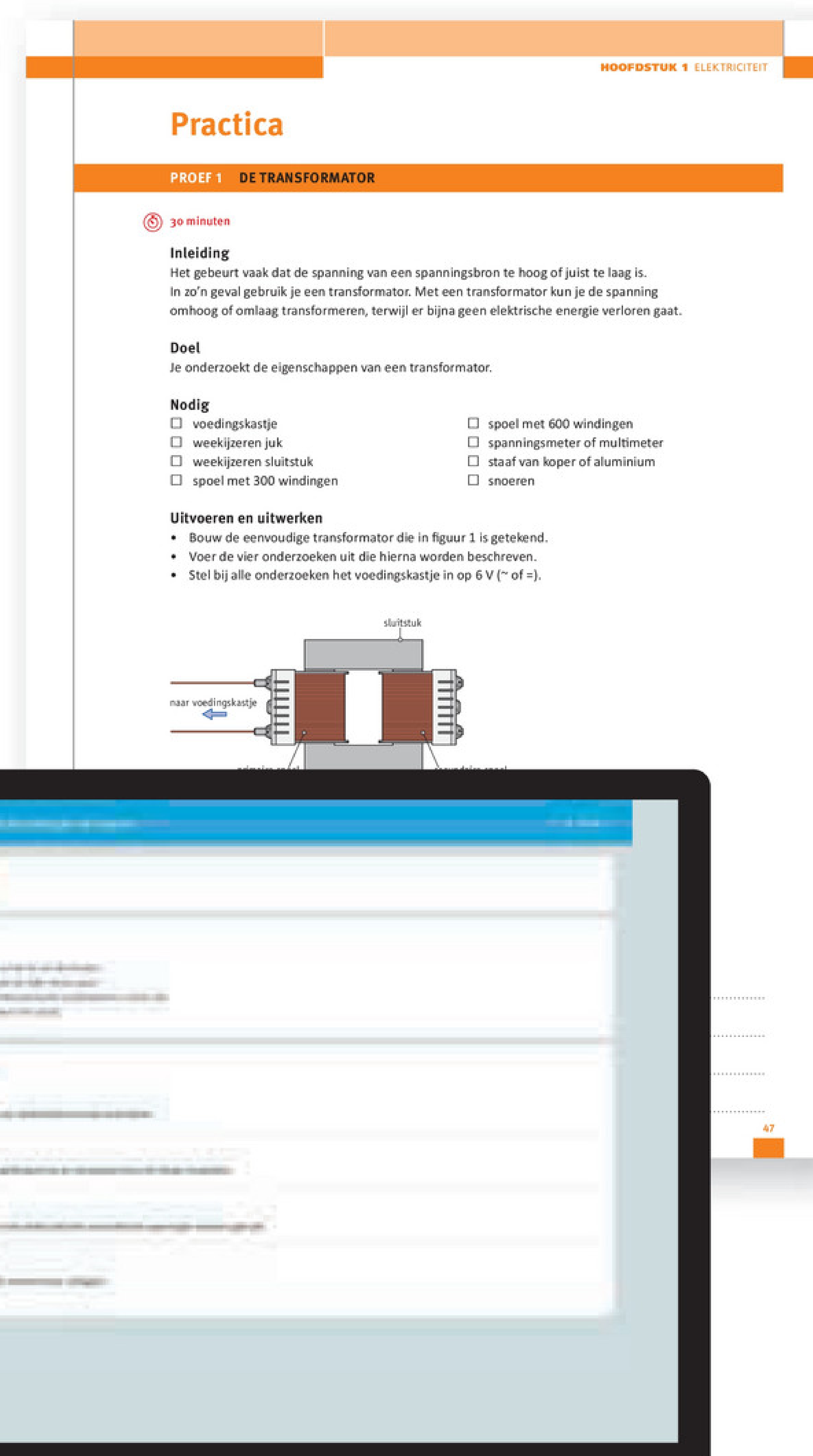
www.malmberg.nl/nova-natuurkunde
Malmberg, ’s-Hertogenbosch

Aan de slag met Nova

Waarom Nova?

Natuurkunde gaat over de wereld om je heen. Met Nova heb je alles binnen handbereik om dit te ervaren, te beleven en te ontdekken!





Werk in je boek én online!

Er zijn twee boeken per leerjaar en een online leeromgeving. Je docent kiest wat je online doet (met laptop, tablet of telefoon) en wat in je boek. De antwoorden op de open opdrachten schrijf je niet in je boek, maar in je schrift. Elk hoofdstuk is verdeeld in een introductie waarin je je voorkennis vaststelt, theorieparagrafen, een practicumparagraaf, een praktijkartikel en een afsluiting. Aan het begin van elke paragraaf is met leerdoelen aangegeven wat je gaat leren. Met de plusstof kun je kijken of het vak natuurkunde ook in de bovenbouw geschikt voor je is. In het onderdeel practicum ga je met practica aan de slag en leer je onderzoeken. Aan het einde van elk hoofdstuk staat een praktijkartikel, waarin een deel van de lesstof in een situatie uit het dagelijks leven of de wetenschap wordt besproken. In de afsluiting vind je de onderdelen Onthoud en Begrippen.

Voordelen van online

- Je ziet snel wat je goed of fout doet.
- Je krijgt direct feedback op je antwoorden.
- Je bekijkt filmpjes en animaties.
- Je oefent belangrijke vaardigheden met de *Vaardigheidstrainer*.
- Je leert de begrippen met de *Flitskaarten*.
- Je meet of je de stof beheerst met de *Test jezelf*, *Oefentoets* en *Diagnostische toets*.
- Je kunt op een lager niveau en leerjaar werken.
- Je docent volgt hoe je het doet.

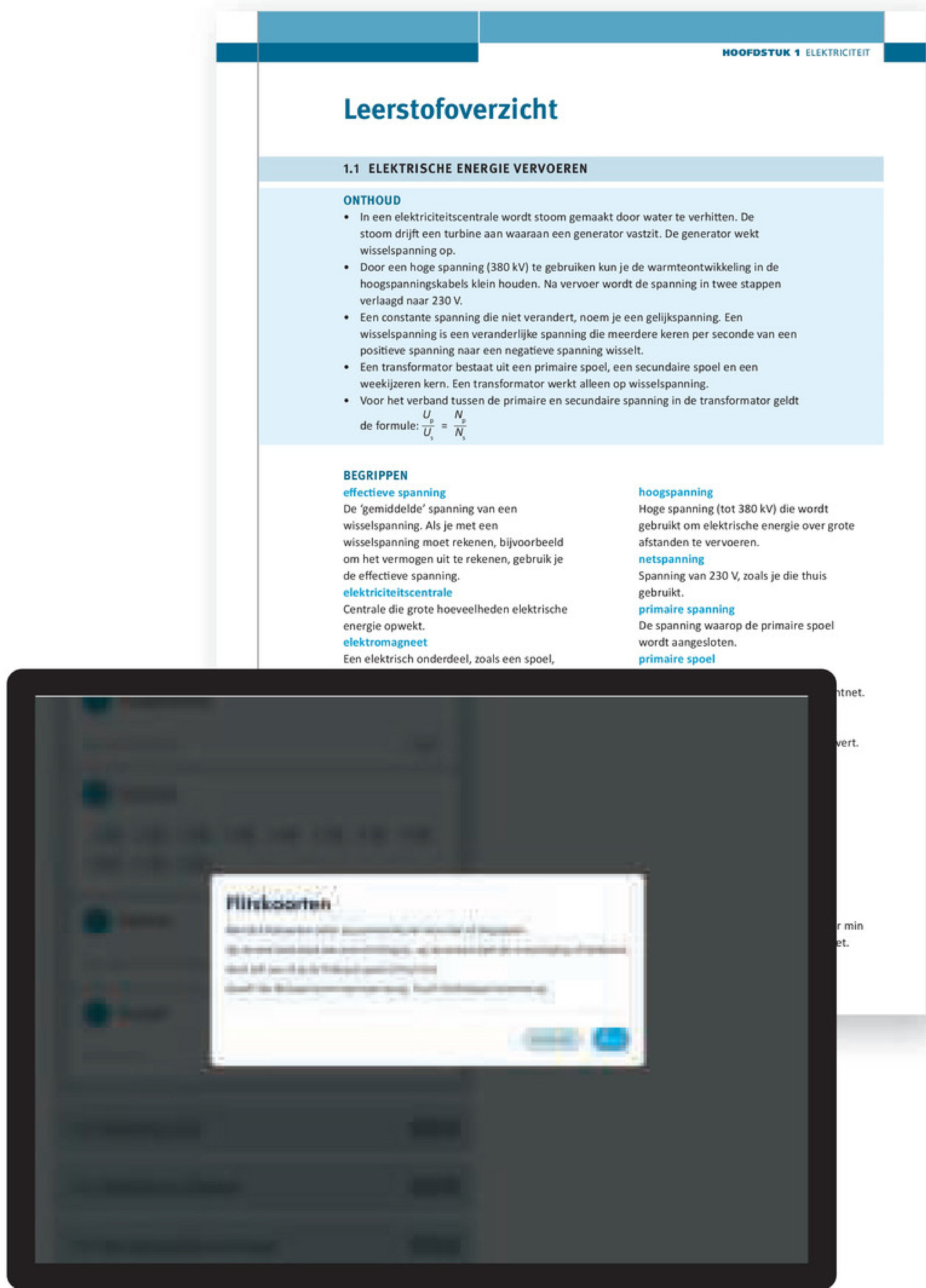
Vaardigheden

Aan het eind van elk boek vind je het onderdeel Vaardigheden, waarin de belangrijkste vaardigheden om onderzoek te doen worden uitgelegd. Enkele belangrijke vaardigheden kun je online oefenen met de *Vaardigheidstrainer*.

Goede voorbereiding op de toets!

In het boek vind je in de afsluiting van elk hoofdstuk de onderdelen Onthoud en Begrippen die je helpen bij de voorbereiding op de toets. In de online paragraaf Afsluiting staat een *Diagnostische toets*. Hier vind je ook *Flitskaarten* voor het leren van alle begrippen. Twijfel je of je de stof voldoende beheerst? Maak dan aan het einde van elke paragraaf de *Test jezelf* of *Oefentoets*.





Voordelen van het boek

- Je hebt snel overzicht van wat je gaat leren.
- Je leest lange teksten op papier.
- Je markeert in de tekst en maakt aantekeningen.
- Je schrijft korte antwoorden meteen bij de opdracht.
- Tabellen en grafieken vul je in in het boek, net als de resultaten van practica.
- Je tekent en kleurt zodat je leerstof goed onthoudt.

Betekenis van de symbolen

	Ga naar de online leeromgeving voor handige extra's.
PROEF 1	Er is een practicum bij deze lesstof.
	Met dit practicum ben je zo lang bezig.
	Gebruik de vaardigheid bij deze opdracht.
	Deze opdracht biedt extra uitdaging.

Inhoud Deel A


Inhoud Deel B

4 Kracht en beweging

BLIJF IN BEWEGING

Of je nu fietst of in een raceauto rijdt, je hebt kracht nodig om in beweging te komen. Als je stopt met trappen of gas geven, neemt je snelheid af. Dat komt door weerstandskrachten die tegen de richting van je beweging in werken.





Wat weet je al over kracht en beweging?

LEERDOELEN

1 Je kunt een snelheid-tijddiagram of (v,t)-diagram aflezen.
2 Je kunt in een plaats-tijddiagram of (x,t)-diagram bij een tijdstip de bijbehorende plaats aflezen en omgekeerd.
3 Je kunt de formule voor gemiddelde snelheid toepassen.
4 Je kunt een gemiddelde snelheid in m/s omrekenen naar km/h.
5 Je kunt beschrijven wat de gevolgen voor een voorwerp zijn als er een kracht op werkt.
6 Je kunt verschillende krachten beschrijven.
7 Je kunt de zwaartekracht op een massa berekenen.
8 Je kunt een kracht tekenen door gebruik te maken van een krachtenschaal.
9 Je kunt de resulterende kracht berekenen van krachten die in dezelfde lijn liggen.

In deel 1-2 van Nova nask heb je al het een en ander geleerd over bewegingen. In hoofdstuk 2 heb je een aantal dingen geleerd over krachten. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

OPDRACHTEN VOORKENNIS

1 Een slak kruipt 2,36 m omhoog op een boomstam. Hij doet hier 0,45 h over.
Bereken de gemiddelde snelheid van de slak in m/h.

....

....

....

2 Reken om.

10 m/s = ... km/h 30 km/h = ... m/s

0,72 m/s = ... km/h 244 km/h = ... m/s

3 Bereken de zwaartekracht die werkt op een paard met een massa van 550 kg.

....

....

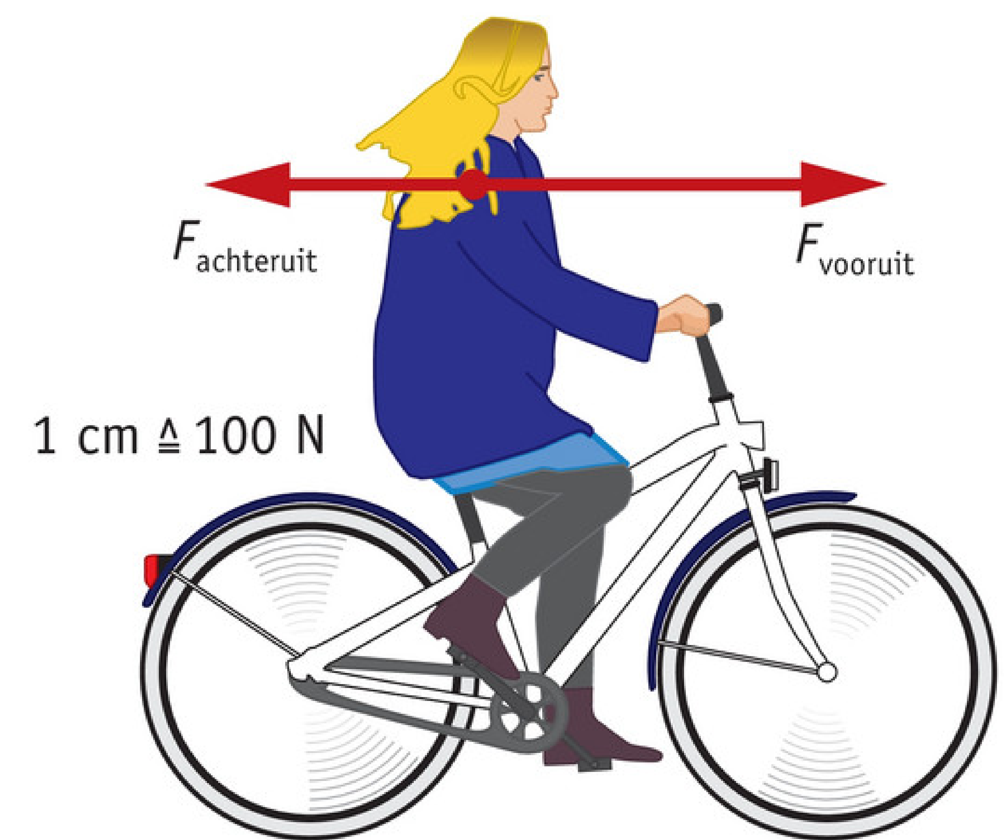
....

4 Bepaal de resultante op de fietser in figuur 1.

....

....

....



figuur 1 Krachten op een fiets.

5 Hoe beweegt de fietser in figuur 1?

- ○ A De fietser beweegt versneld.
- ○ B De fietser beweegt vertraagd.
- ○ C De fietser beweegt eenparig.

6 Links en rechts staan dezelfde bewegingen: links als (*x*,*t*)-diagram, rechts als (*v*,*t*)-diagram. Trek een lijn van elk (*x*,*t*)-diagram naar het bijbehorende (*v*,*t*)-diagram.

(*x*,*t*)-diagram

A — ↑ *x* (m), → *t* (s) ○

B — ↑ *x* (m), → *t* (s) ○

C — ↑ *x* (m), → *t* (s) ○

(*v*,*t*)-diagram

○ 1 — ↑ *v* (m/s), → *t* (s)

○ 2 — ↑ *v* (m/s), → *t* (s)

○ 3 — ↑ *v* (m/s), → *t* (s)



Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*. Daar vind je ook filmpjes over de belangrijkste leerdoelen voor dit hoofdstuk.

1 Versnellen en vertragen

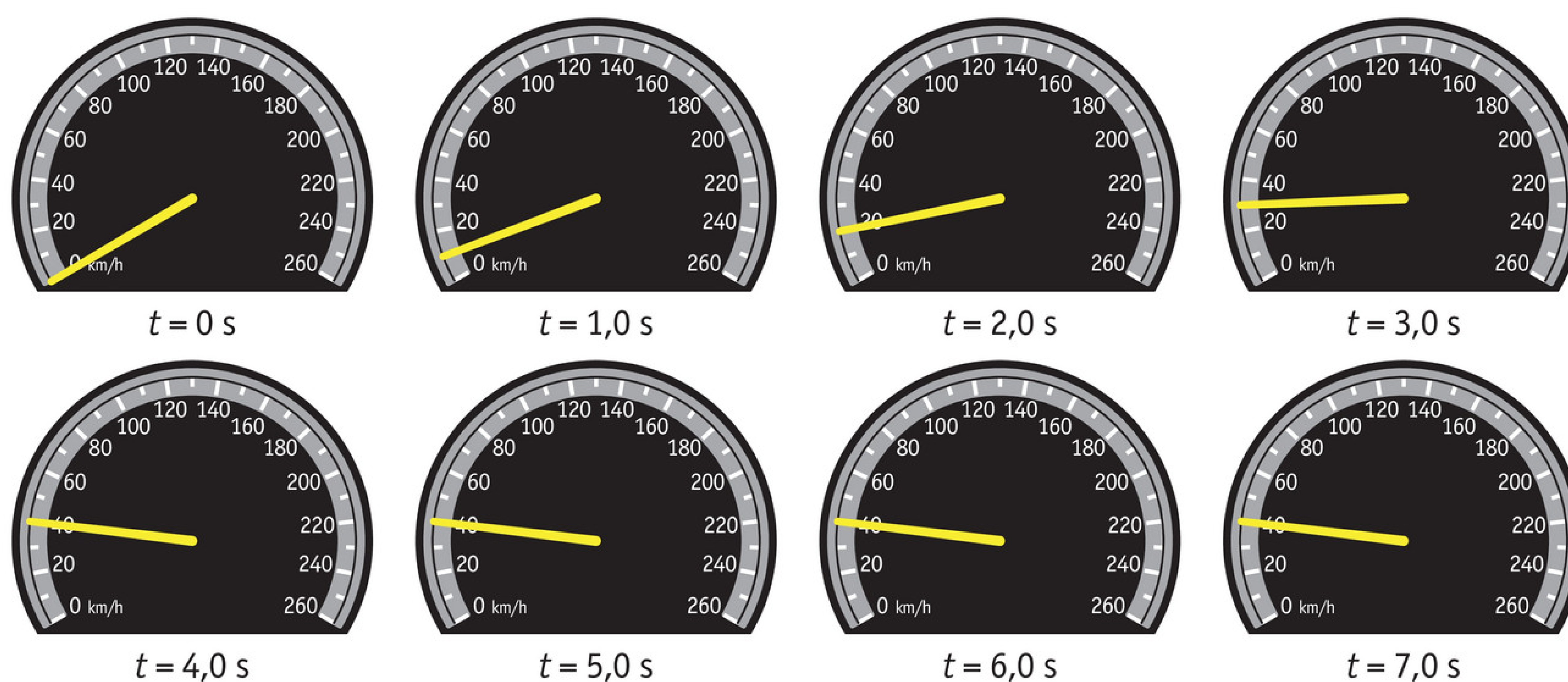
LEERDOELEN

4.1.1 Je kunt een beweging vastleggen in een (v,t)-diagram en in een (x,t)-diagram.
4.1.2 Je kunt uit een (v,t)- of (x,t)-diagram afleiden om wat voor soort beweging het gaat.
4.1.3 Je kunt uitleggen hoe de grootheden versnelling en vertraging zijn gedefinieerd.
4.1.4 Je kunt de versnelling van een eenparig versnelde beweging berekenen.
4.1.5 Je kunt de vertraging van een eenparig vertraagde beweging berekenen.
4.1.6 Je kunt de afgelegde afstand bepalen met het (v,t)-diagram van een beweging.
PLUS 4.1.7 Je kunt bij een niet-eenparige versnelling de verplaatsing en gemiddelde snelheid bepalen met het (v,t)-diagram.

Als je in een verkeersvliegtuig zit, vlieg je met een snelheid van ruim 900 km/h. De karretjes van een achtbaan halen 'maar' 150 km/h. Toch voelt een rit in een achtbaan veel spannender dan een vlucht met een vliegtuig. Dat komt doordat de karretjes enorm snel optrekken en afremmen. Het is blijkbaar niet de snelheid die je in je maag voelt, maar de snelheidsverandering.

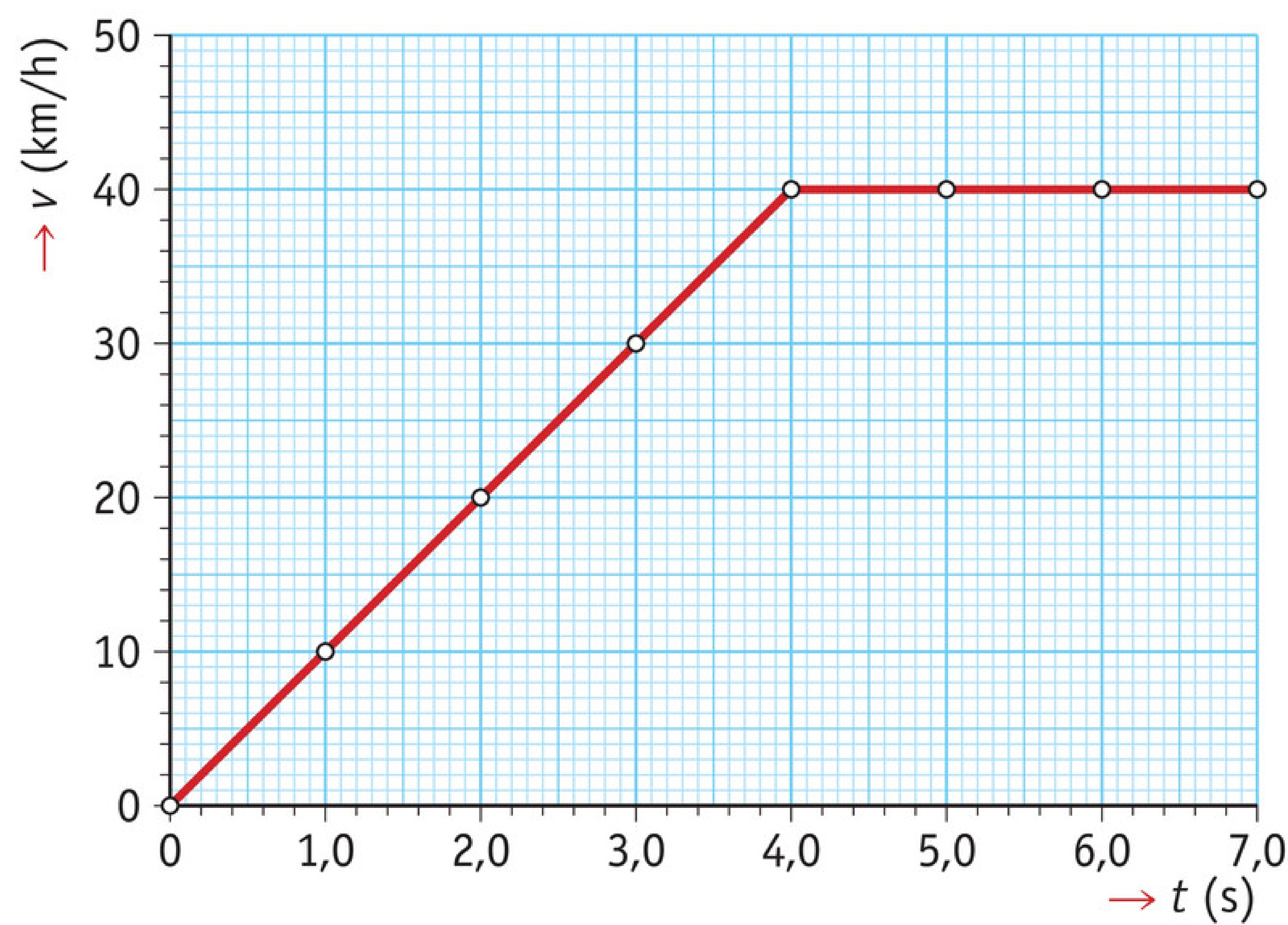
EEN (*V*,*T*)-DIAGRAM MAKEN

Op de snelheidsmeter van een auto kun je zien hoe snel de auto op dat moment rijdt. Als je de snelheidsmeter met tussenpozen van 1 seconde zou fotograferen, krijg je een serie afbeeldingen zoals in figuur 1. In de figuur kun je aflezen hoe groot de snelheid is op tijdstip t = 0 s, t = 1,0 s, t = 2,0 s, enzovoort.



figuur 1 Op de snelheidsmeter kun je zien hoe snel de auto rijdt.

Met de gegevens uit figuur 1 is het **(snelheid,tijd)-diagram** in figuur 2 getekend. In zo'n diagram kun je in één oogopslag zien hoe de hele beweging is verlopen. Een (snelheid,tijd)-diagram wordt ook vaak een **(v,t)-diagram** genoemd. Langs de horizontale as staat de tijd t, langs de verticale as de snelheid v.



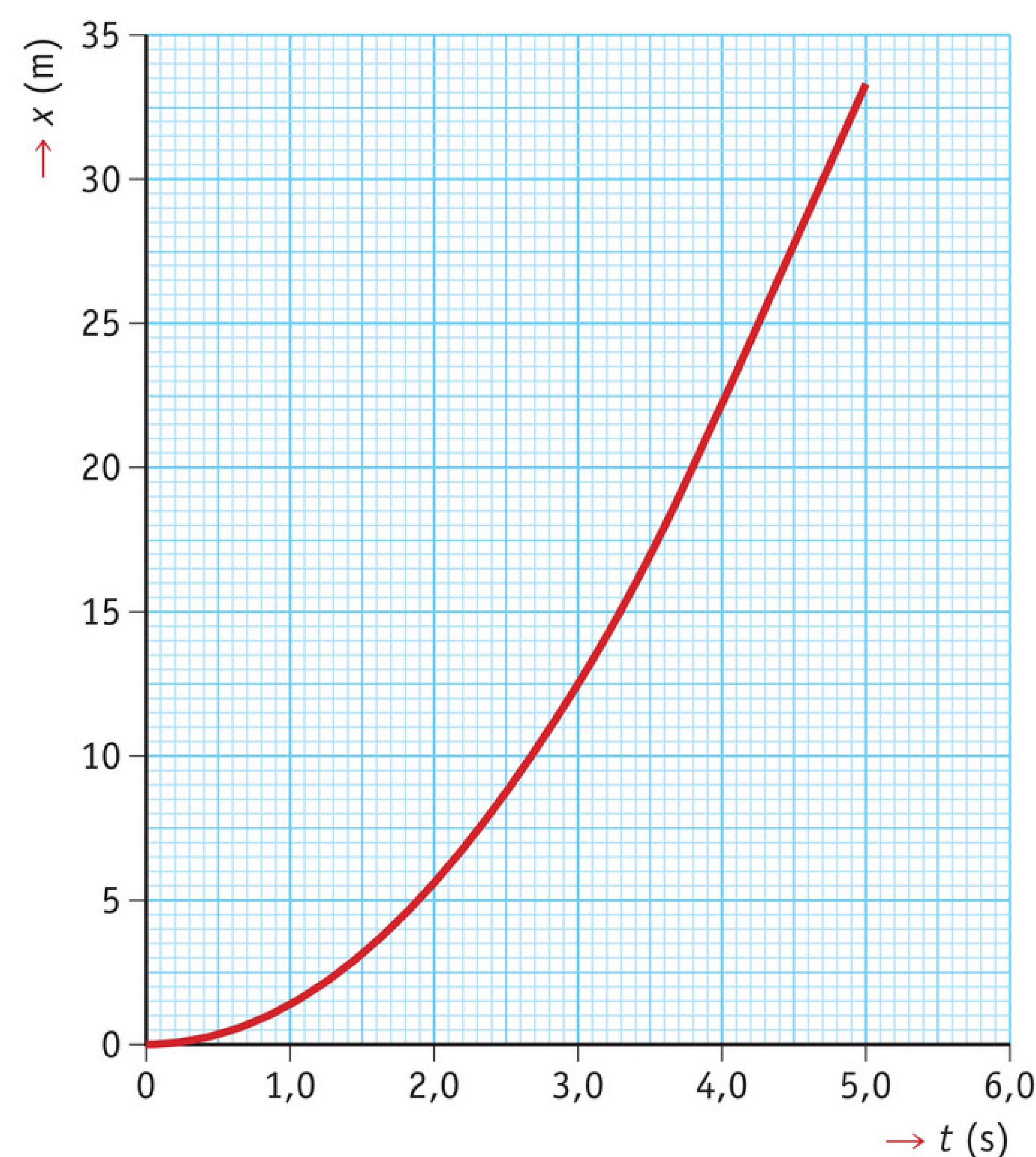
figuur 2 Het (*v*,*t*)-diagram van een optrekkende auto.

Je ziet in het diagram hoe groot de snelheid is op elk moment van de beweging.

- Van *t* = 0 s tot *t* = 4,0 s is de beweging **versneld**. De auto begint te bewegen op *t* = 0 s en trekt daarna geleidelijk op. De snelheid wordt dus steeds groter.
- Op *t* = 4,0 s heeft de auto de snelheid bereikt waarmee de bestuurder verder wil rijden: 40 km/h. De snelheid van de auto verandert daarna niet meer. Zo'n beweging waarbij de snelheid constant is, noem je een **eenparige beweging**.

Je kunt de beweging ook vastleggen in een **(plaats,tijd)-diagram** of **(*x*,*t*)-diagram**. Het (*x*,*t*)-diagram van de auto is getekend in figuur 3. Zolang de auto versnelt, is de grafiek een parabool. Als de snelheid constant is, is de grafiek een schuine rechte lijn.

Let erop dat je een (*v*,*t*)-diagram (snelheid tegen tijd) niet verwart met een (*x*,*t*)-diagram (plaats tegen tijd). Kijk altijd eerst naar de grootheden (*x* of *v*) en eenheden (m of m/s) die langs de assen staan. Daaraan kun je zien om wat voor soort diagram het gaat.

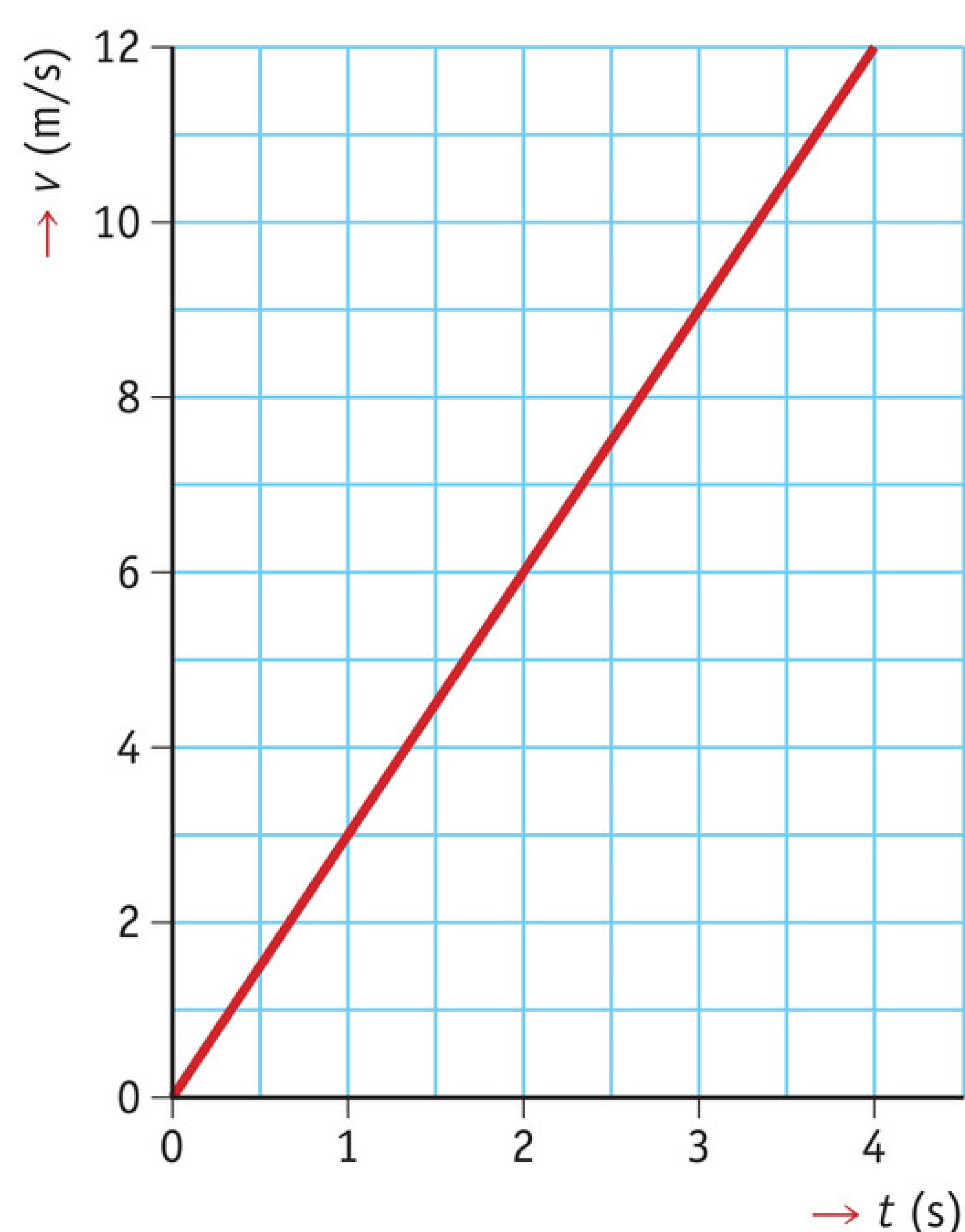


figuur 3 Het (*x*,*t*)-diagram van de optrekkende auto.

DE EENPARIG VERSNELDE BEWEGING

PROEF 1

In figuur 4 zie je een deel van het (v,t)-diagram in een testrapport van een auto. Je ziet dat de snelheid in de eerste vier seconden gelijkmatig toeneemt: de grafiek is een rechte lijn. Een beweging waarvan de snelheid gelijkmatig groter wordt, noem je een **eenparig versnelde beweging**.



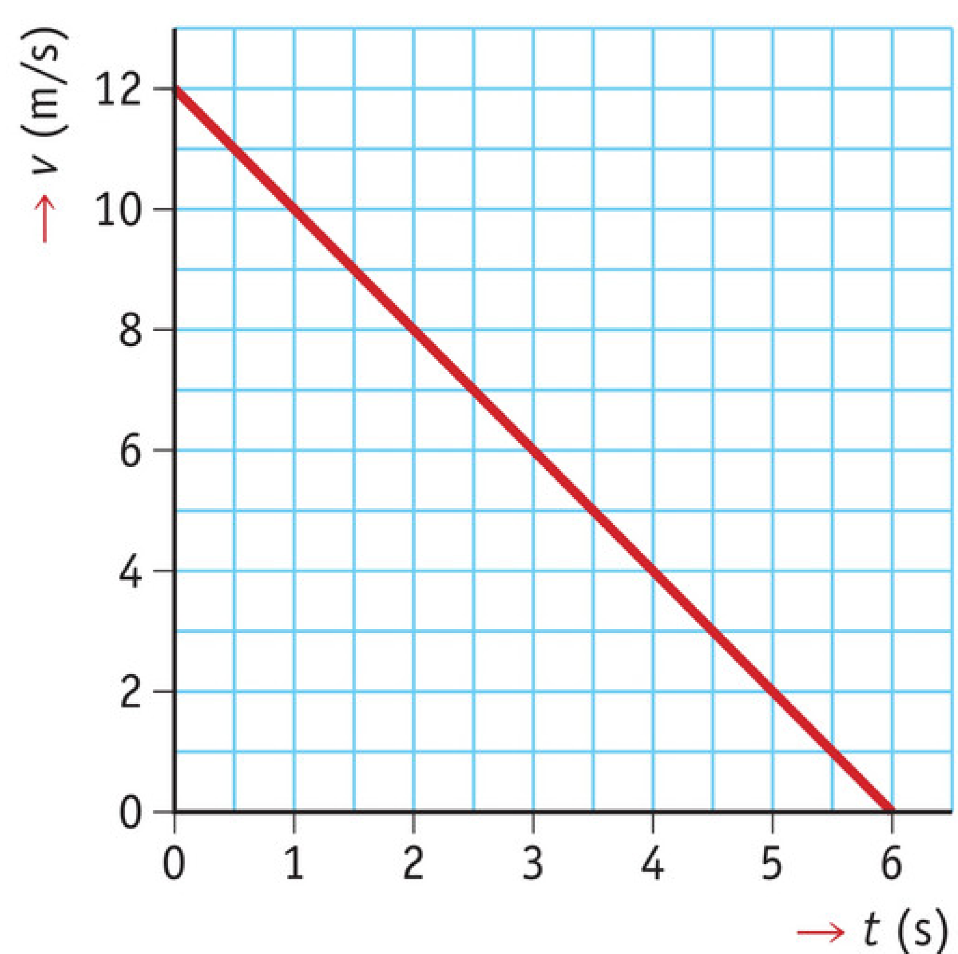
figuur 4 Zo versnelt de testauto bij het wegrijden.

Na 1 seconde is de snelheid 3 m/s, na 2 seconden 6 m/s, na 3 seconden 9 m/s, enzovoort. De snelheid neemt dus elke seconde met 3 m/s toe. De snelheidsverandering per seconde noem je de **versnelling**. Bij de beweging in figuur 4 is de versnelling 3 m/s per seconde. Dit wordt geschreven als 3 m/s^2. Je zegt: “Drie meter per seconde kwadraat.”

Het symbool voor de versnelling is de letter a (van acceleratie). Je noteert de versnelling dus als volgt: a = 3 m/s^2. Daarmee bedoel je dan dat de snelheid elke seconde toeneemt met 3 m/s.

DE EENPARIG VERTRAAGDE BEWEGING

In figuur 5 is het (v,t)-diagram getekend van een auto die afremt voor een stoplicht. Je ziet dat de snelheid gelijkmatig afneemt tot de auto stilstaat: de beweging is **eenparig vertraagd**.



figuur 5 Het (v,t)-diagram van een remmende auto.

In het (v,t)-diagram kun je aflezen dat de beginsnelheid van de auto 12 m/s is. Na 1 seconde is de snelheid 10 m/s, na 2 seconden 8 m/s, na 3 seconden 6 m/s, enzovoort. De snelheid neemt dus elke seconde af met 2 m/s. De snelheidsafname per seconde noem je de **vertraging**.
Je zegt nu dat de vertraging gelijk is aan 2 m/s^2. Je schrijft: $a = -2$ m/s^2

Zoals je ziet, gebruik je voor vertraging hetzelfde symbool als voor versnelling: de letter a. Het enige verschil is dat een versnelling altijd een positief getal is en een vertraging een negatief getal.

DE VERSNELLING BEREKENEN

Bij een eenparig versnelde beweging neemt de snelheid gelijkmatig toe van de beginsnelheid v_b tot de eindsnelheid v_e. Je kunt de snelheidsverandering Δv berekenen door de beginsnelheid van de eindsnelheid af te trekken: $\Delta v = v_e - v_b$

Om de versnelling te berekenen, deel je de snelheidsverandering Δv door de benodigde tijd Δt. Zo vind je de snelheidsverandering per seconde:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Hierin is:
- a de versnelling in meter per seconde kwadraat (m/s^2);
- $\Delta v = v_e - v_b$ de verandering van de snelheid in meter per seconde (m/s);
- $\Delta t = t_e - t_b$ de verandering in tijd in seconde (s).

VOORBEELDOPDRACHT 1

Een automobiliste wil de snelweg oprijden en geeft vol gas. De auto versnelt eenparig gedurende 4,0 s. Hierdoor neemt de snelheid toe van 60 km/h tot 100 km/h.
Bereken de versnelling.

gegevens v_b = 60 km/h = 16,7 m/s
v_e = 100 km/h = 27,8 m/s
t = 4,0 s

gevraagd a = ?

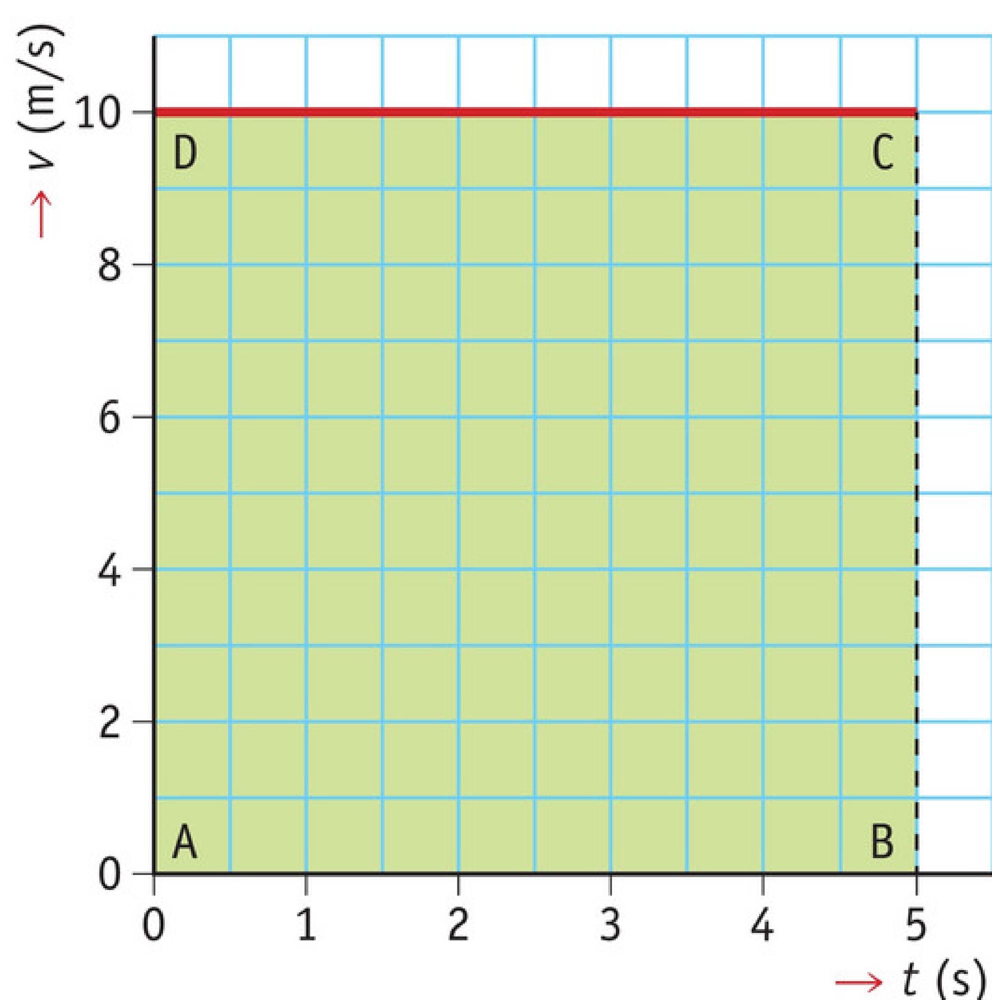
uitwerking $\Delta v = v_e - v_b = 27{,}8 - 16{,}7 = 11{,}1$ m/s

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{11{,}1}{4{,}0} = 2{,}8 \text{ m/s}^2$$

DE AFGELEGDE AFSTAND BEPALEN

Als een auto versneld beweegt, legt hij tijdens die beweging een bepaalde afstand af. Je kunt de afgelegde afstand bepalen met het (v,t)-diagram van de beweging. Bepalen wil in dit geval zeggen dat je de afstand berekent met behulp van de grafiek.

In figuur 6 zie je het (v,t)-diagram van een wielrenner die eenparig beweegt met een constante snelheid van 10 m/s. De afstand die de wielrenner na 5,0 s heeft afgelegd kun je berekenen met $s = v \cdot t = 10 \times 5{,}0 = 50$ m. Dit komt overeen met de oppervlakte onder het (v,t)-diagram; dat is de oppervlakte van rechthoek ABCD.



figuur 6 Het (v,t)-diagram van een eenparige beweging.

Ook bij een eenparig versnelde beweging kun je de afgelegde afstand vinden door de oppervlakte onder het (v,t)-diagram te bepalen.

VOORBEELDOPDRACHT 2

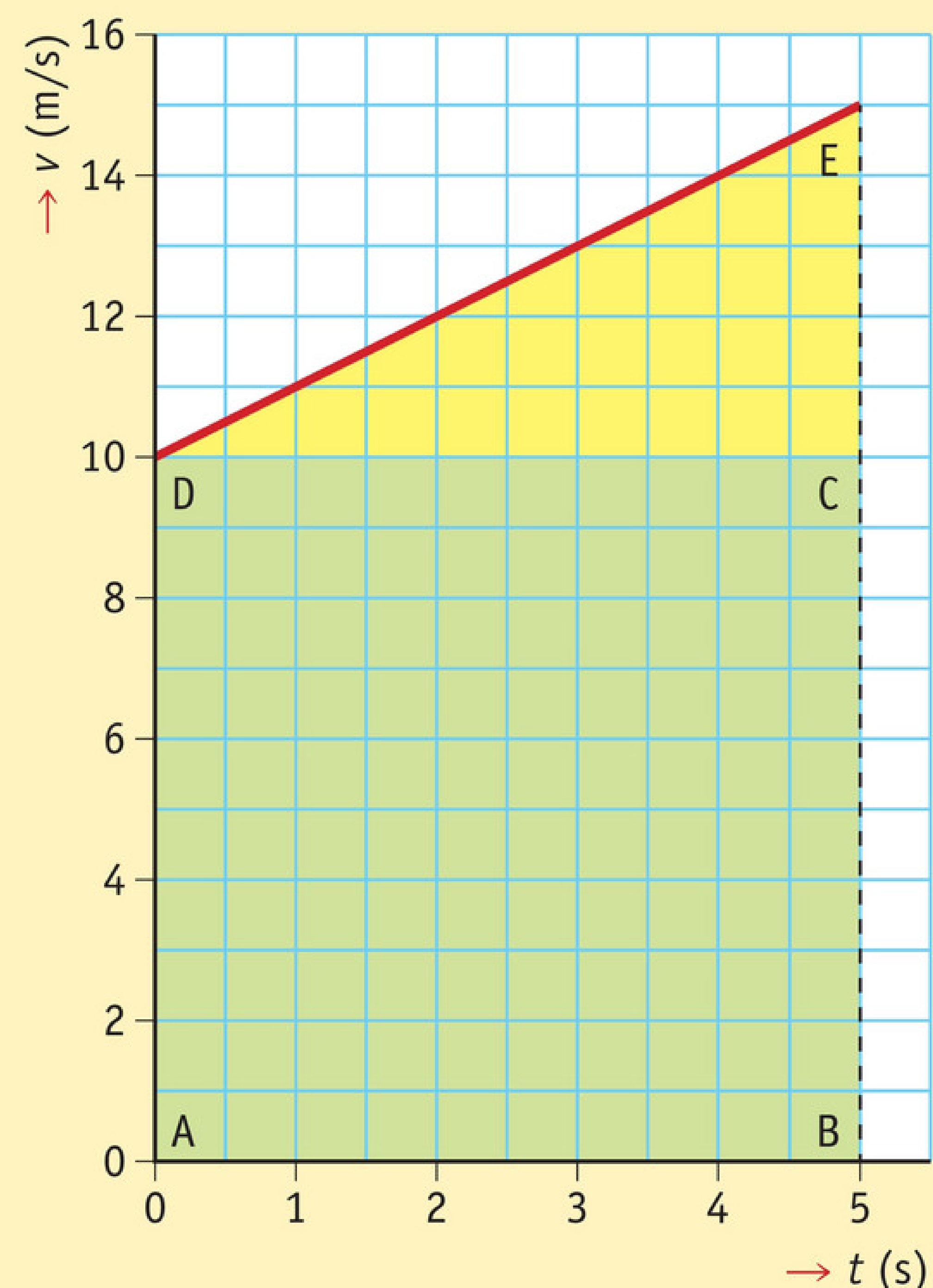
In figuur 7 zie je het (v,t)-diagram van een skiër die in 5,0 s eenparig versnelt van 36 km/h (10 m/s) naar 54 km/h (15 m/s).
Bepaal de afstand die de skiër heeft afgelegd.

gegevens v_b = 36 km/h = 10 m/s
v_e = 54 km/h = 15 m/s
t = 5,0 s

gevraagd s = ?

uitwerking De afgelegde afstand is gelijk aan de oppervlakte onder het (v,t)-diagram:
s = oppervlakte rechthoek ABCD + oppervlakte driehoek DCE
= 5 × 10 + ½ × 5 × (15 − 10) = 62,5 m;
afgerond 63 m

De skiër legt dus een afstand af van 63 m.

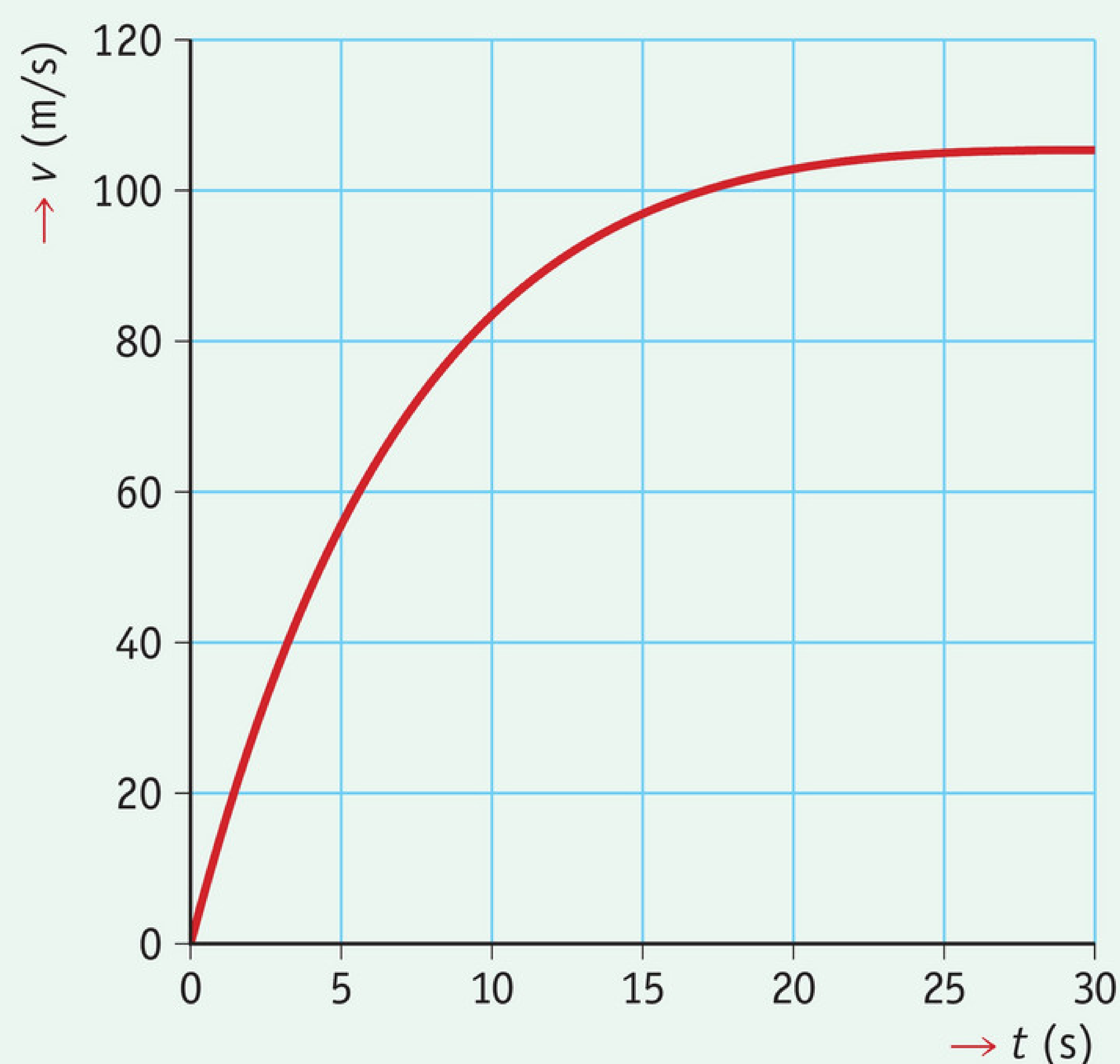


figuur 7 Het (v,t)-diagram van een eenparig versnelde beweging.

PLUS DE NIET-EENPARIGE VERSNELLING

Een beweging zoals in figuur 2 zul je in het dagelijks leven nooit tegenkomen. Een auto zal bij het optrekken niet voortdurend dezelfde versnelling hebben. Ook zal de beweging niet abrupt overgaan van een versnelde naar een eenparige beweging.

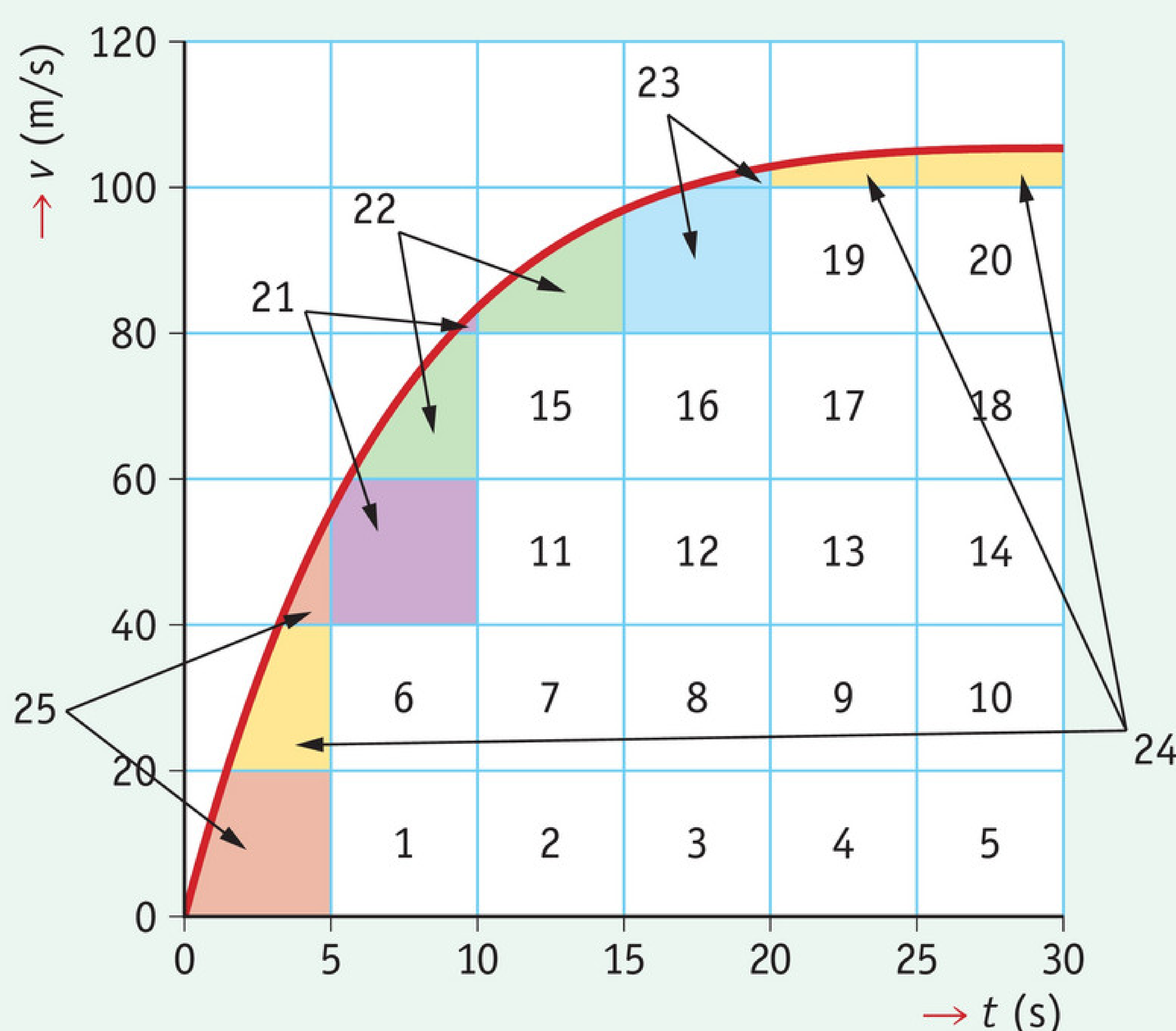
In figuur 8 zie je een realistischer (v,t)-diagram van een raceauto. Als de snelheid stijgt, loopt de grafiek steeds minder steil. De snelheid neemt dus steeds minder toe en de versnelling van de auto wordt dus kleiner. Het oppervlak onder de grafiek bestaat dan niet meer uit vormen waarvan je de oppervlakte eenvoudig kunt bepalen, zoals rechthoeken en driehoeken. Het is dan lastig om de afgelegde afstand nauwkeurig met het (v,t)-diagram te bepalen.



figuur 8 Het (snelheid,tijd)-diagram van een optrekkende formule 1-raceauto.

Een snelle manier om een schatting te maken van de afgelegde afstand zie je in figuur 9. Als je bijvoorbeeld de verplaatsing wilt bepalen tussen het tijdstip t = 0 s en t = 30 s, bepaal je eerst met welke verplaatsing de oppervlakte van één hokje overeenkomt. Vervolgens tel je het aantal hokjes onder de grafiek. Zoals je ziet in figuur 9 probeer je het aantal hokjes dat niet precies onder de grafiek ligt zo nauwkeurig mogelijk te schatten. In dit geval geldt:

- Het aantal hokjes onder de grafiek is gelijk aan (ongeveer) 25.
- De oppervlakte van één hokje is gelijk aan 20 m/s × 5,0 s = 100 m.
- De verplaatsing is dus gelijk aan 25 × 100 m = $2{,}5 \cdot 10^3$ m.



figuur 9 Zo tel je hokjes onder een kromme grafiek.


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Hoe noem je een beweging waarvan:
- de snelheid gelijkmatig groter wordt?
- de snelheid de hele tijd even groot blijft?

b Met welke formule kun je de versnelling van een bewegend voorwerp berekenen?

c Wat wordt bedoeld met de uitspraak: de versnelling van het voorwerp is 2,5 m/s^2?

d Hoe kun je de afgelegde afstand bepalen uit het (*v*,*t*)-diagram van een beweging?

2 Vul tabel 1 verder in.

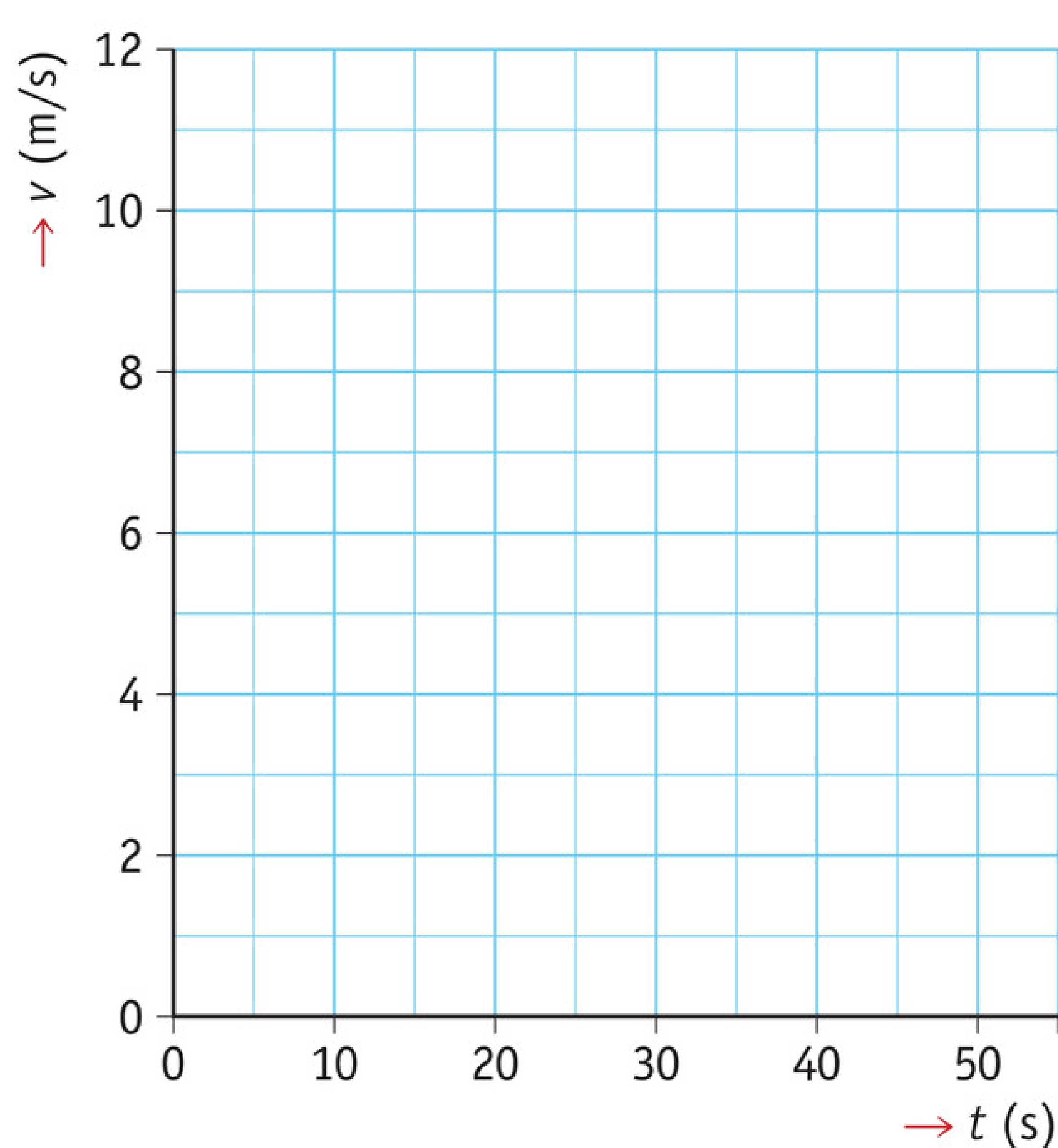
tabel 1 Enkele grootheden en eenheden.

grootheid	symbool	eenheid	symbool
afstand			m
		seconde	
			m/s
	a		

TOEPASSING

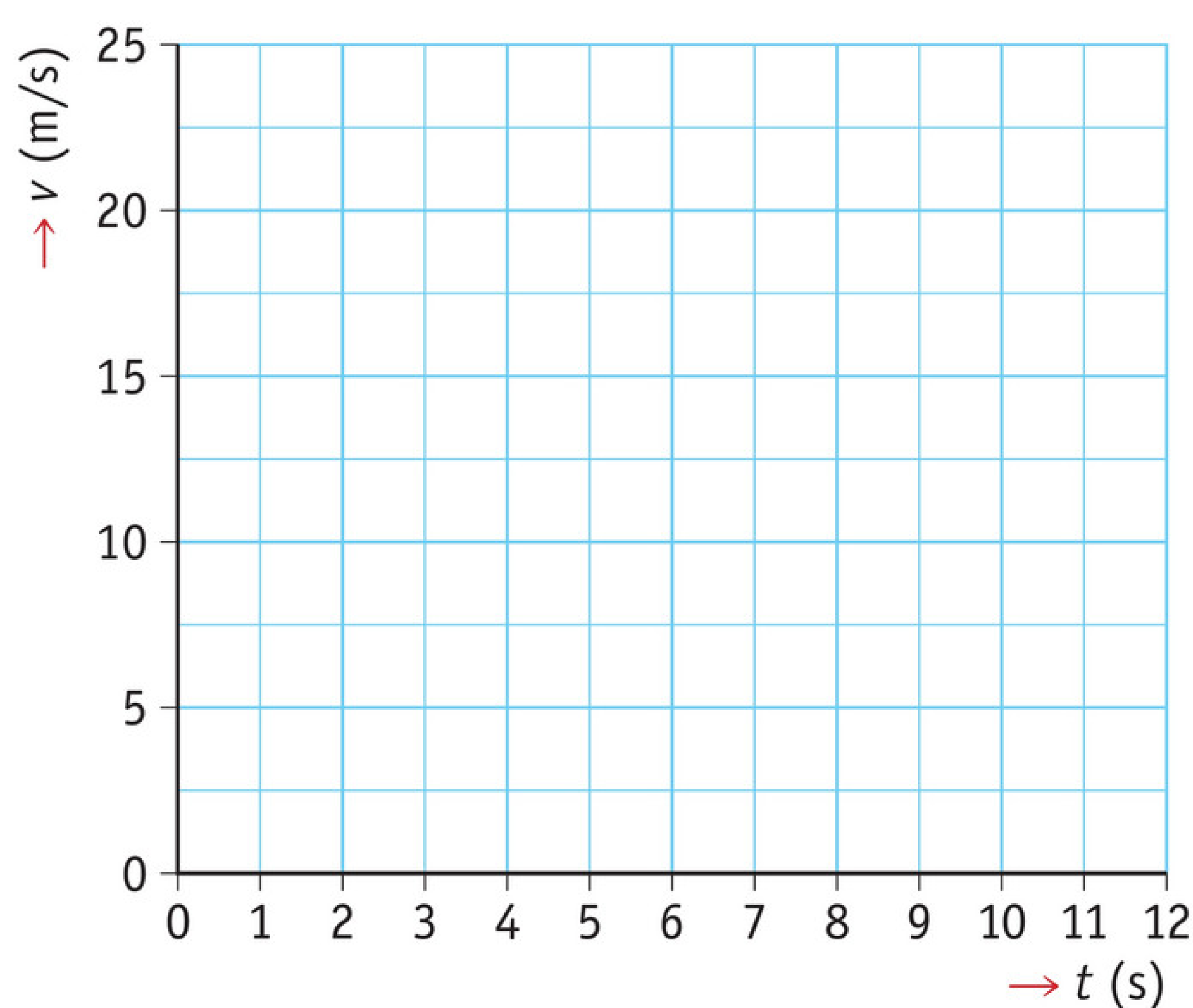
3 Schets het (*v*,*t*)-diagram van:

a een schaatser die in 40 s een rondje rijdt op een ijsbaan met een constante snelheid van 36 km/h (figuur 10).



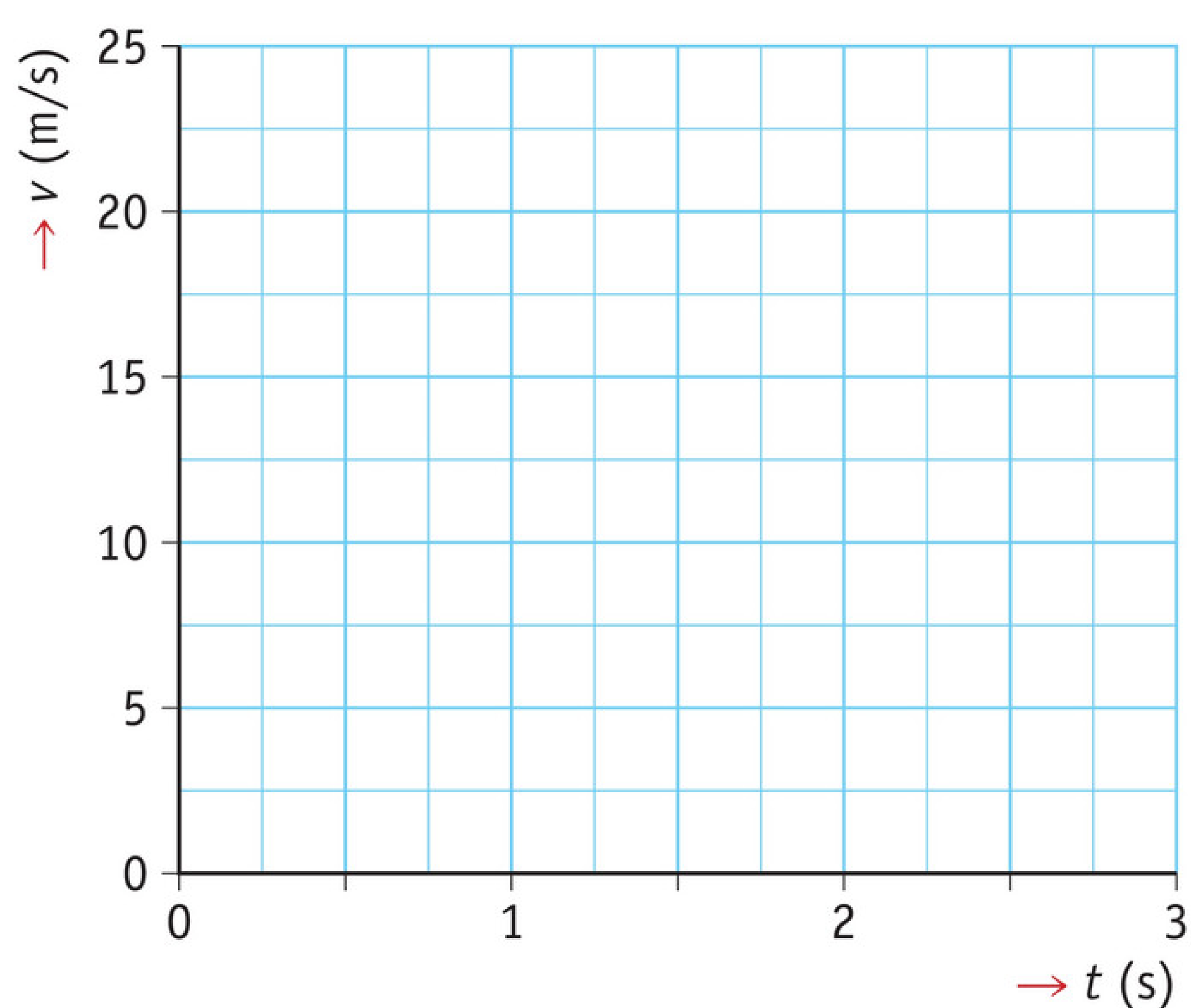
figuur 10 Het (*v*,*t*)-diagram van een schaatser.

b een skispringer die eenparig versneld een skischans afdaalt. Als hij na 12 s van de schans springt, is zijn snelheid 90 km/h (figuur 11).



figuur 11 Het (*v*,*t*)-diagram van een skispringer.

c een automobilist die bij een inhaalmanoeuvre in 3,0 s versnelt van 63 naar 81 km/h (figuur 12).

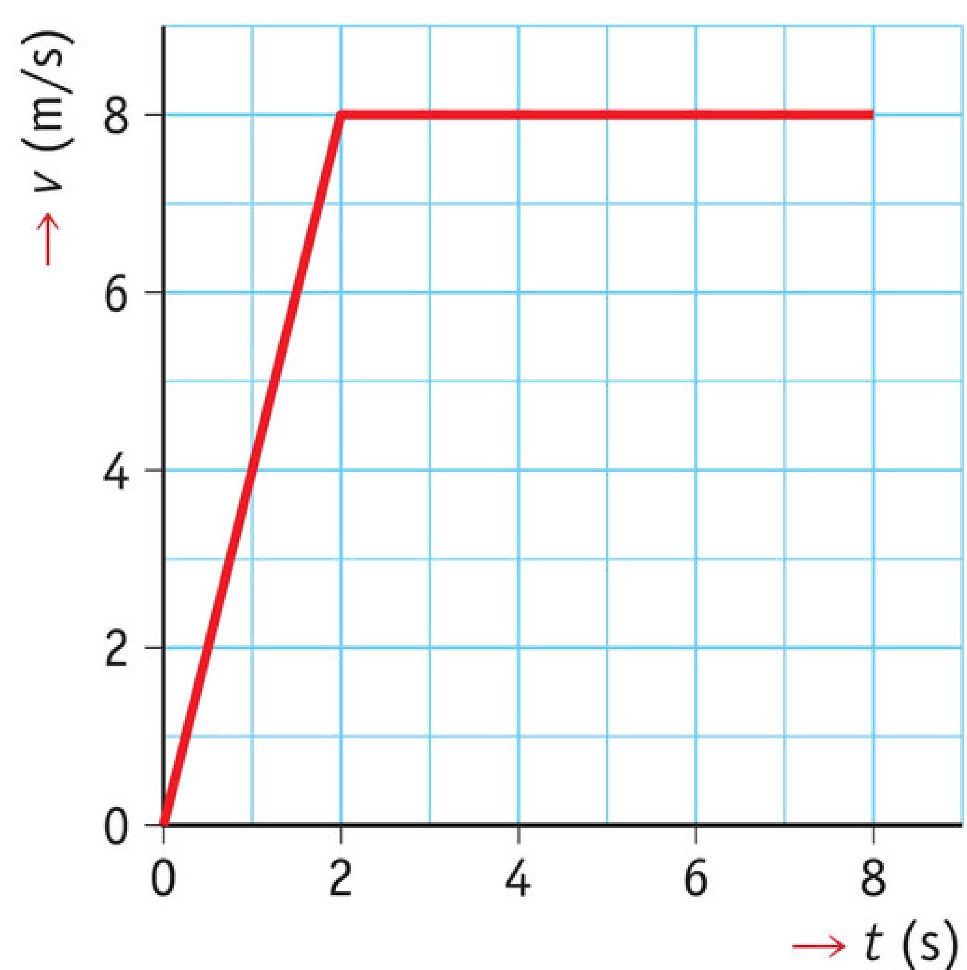


figuur 12 Het (*v*,*t*)-diagram van een automobilist.

4 In figuur 13 zie je het (*v*,*t*)-diagram van Wietske op haar scooter.

a Bepaal de versnelling van Wietske gedurende de eerste 2,0 s.

b Bepaal de afstand die Wietske aflegt in de eerste 8,0 s van haar rit.

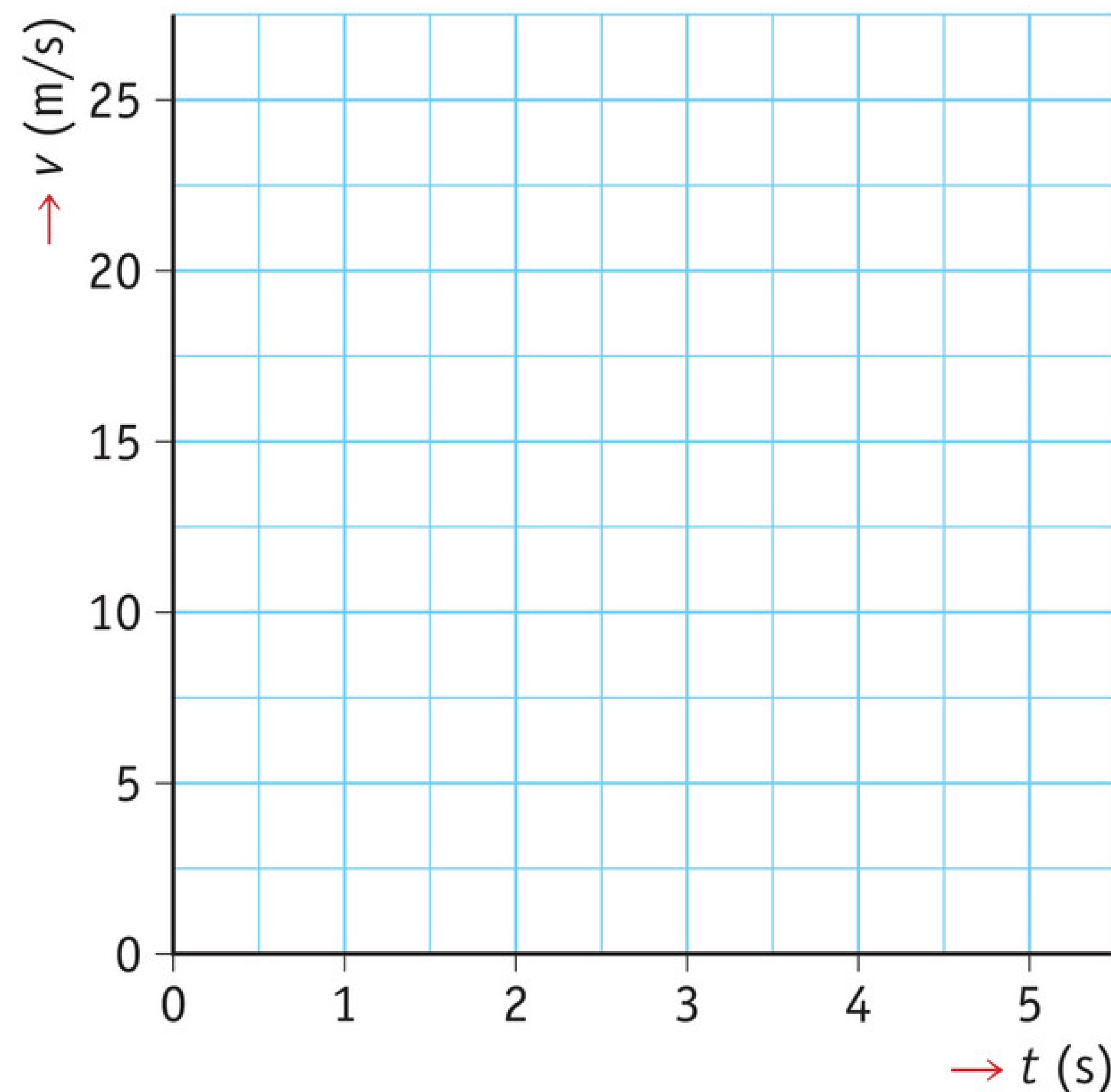


figuur 13 Het (*v*,*t*)-diagram van Wietske.

5 Een auto rijdt met een snelheid van 63 km/h. De automobilist geeft meer gas, waardoor zijn snelheid in 5,0 s toeneemt tot 90 km/h.

a Bereken de versnelling van de auto in m/s².

b Bepaal de afstand die de auto tijdens de beweging aflegt. Schets daarvoor eerst het (*v*,*t*)-diagram in figuur 14.



figuur 14 Het (*v*,*t*)-diagram van een optrekkende auto.

c Bepaal hoe groot de eindsnelheid geworden zou zijn, als de auto niet 5,0 s maar 6,0 s was blijven versnellen. Geef je antwoord in km/h.

★ 6 In voorbeeldopdracht 2 over de versnellende skiër wordt de afgelegde afstand bepaald met behulp van een grafiek. Maar je kunt de afstand ook berekenen met de formule $s = v_{gem} \cdot t$.
Laat zien dat deze aanpak hetzelfde antwoord oplevert.

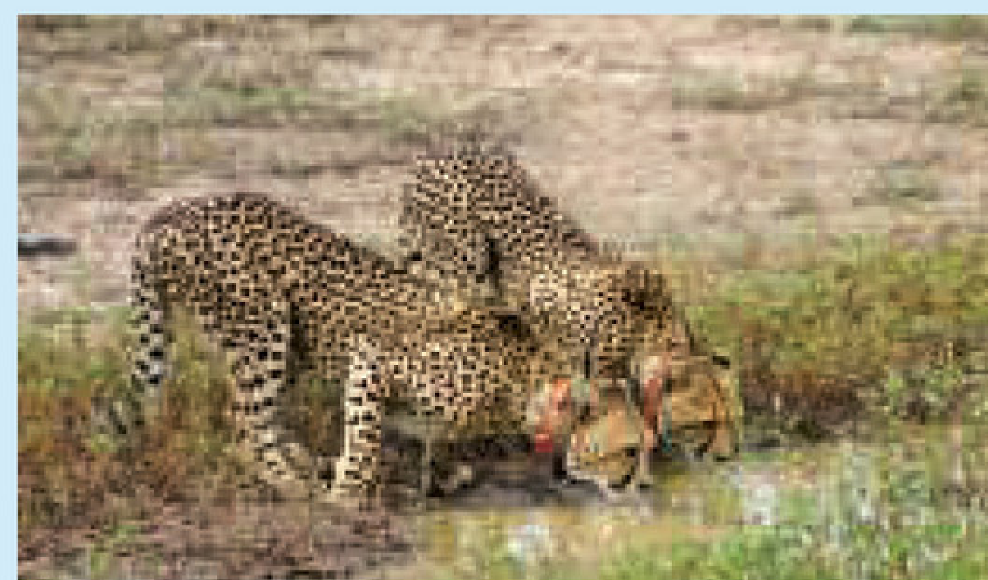
7 Lees het krantenartikel in figuur 15.

a Bereken de topsnelheid van het jachtluipaard in km/h.

b Leg uit hoeveel stappen het jachtluipaard minimaal nodig heeft om een topsnelheid van 27 m/s te bereiken.

c Metingen hebben aangetoond dat één stap van een jachtluipaard 0,45 s duurt. Bereken de versnelling van het jachtluipaard.

Versnelling, niet snelheid, maakt jachtluipaard topjager



Het jachtluipaard behaalt zelden de topsnelheid (27 m/s) waar hij om bekendstaat. Maar het dier heeft een enorme versnelling en is extreem wendbaar. Britse wetenschappers maten de snelheid van wilde cheeta's en vonden een gemiddelde topsnelheid van 'amper' 14,9 m/s. Ter vergelijking: een topsprinter haalt 12 m/s.
De dieren hebben echter een ander groot voordeel tijdens de jacht: hun spieren kunnen zeer snel samentrekken. In één stap kunnen de dieren 3 m/s versnellen of 4 m/s vertragen. Vertragen doen ze altijd vlak voor ze van richting veranderen: zo kunnen ze een veel scherpere bocht nemen.

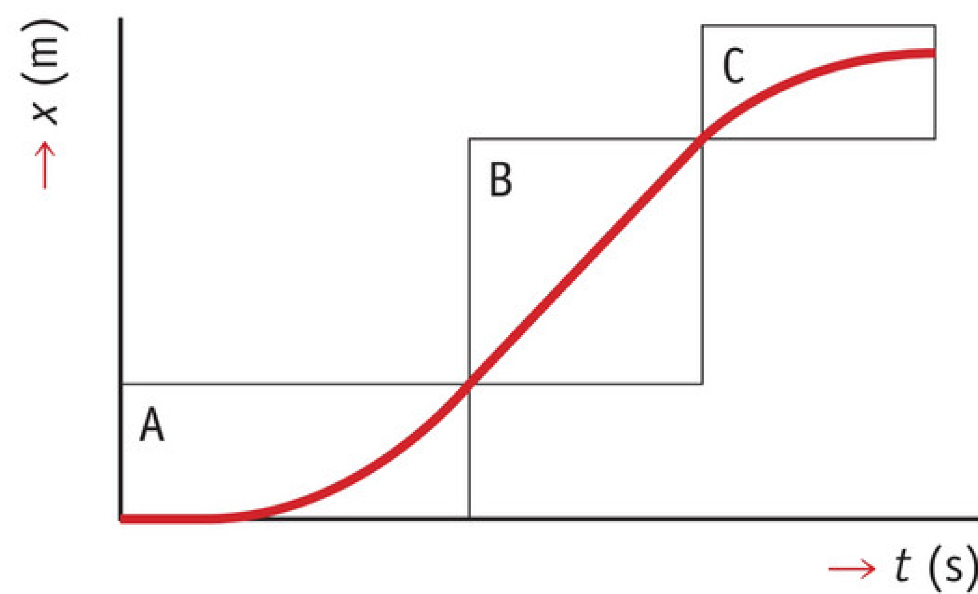
figuur 15 Wilde jachtluipaarden met een halsband die hun versnelling meet.

8 In figuur 16 zie je het (*x*,*t*)-diagram van een sprinter in een hardloopwedstrijd. Op tijdstip *t* = 0 klinkt het startschot.

a Leg uit waarom de grafiek na *t* = 0 eerst even horizontaal loopt.

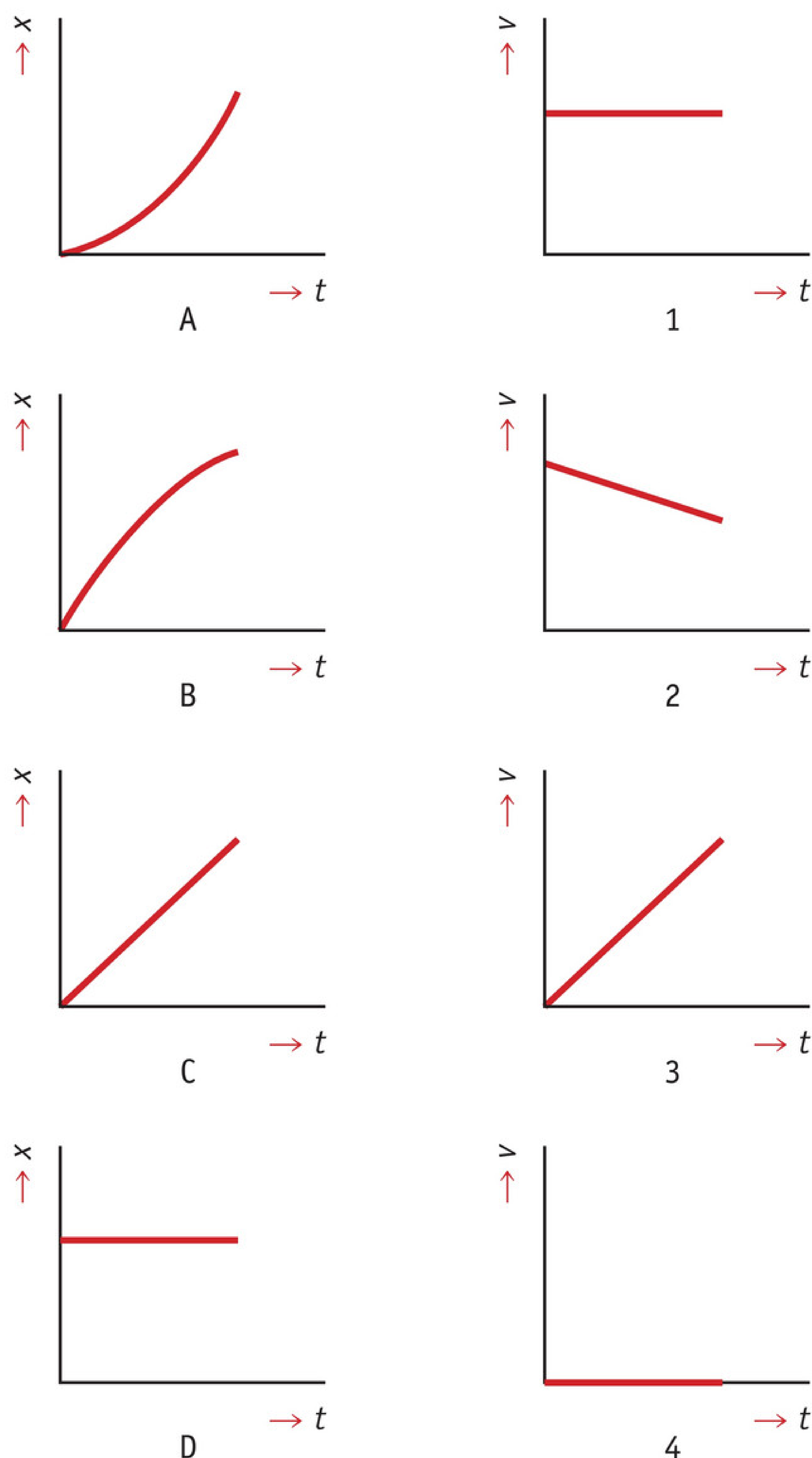
b Leg uit of de gemiddelde snelheid in deel B groter of kleiner is dan de gemiddelde snelheid in deel C, of precies even groot.

c Als de sprinter in beweging komt, heeft hij de eerste 2,0 s een constante versnelling van 4,0 m/s^2.
Bereken zijn snelheid na die 2,0 s.



figuur 16 Het (*x*,*t*)-diagram van een sprinter.

9 Uit een (*x*,*t*)-diagram kun je het (*v*,*t*)-diagram afleiden en andersom. In figuur 17 staan links vier (*x*,*t*)-diagrammen en rechts vier (*v*,*t*)-diagrammen.
Welke diagrammen horen bij elkaar en waarom?

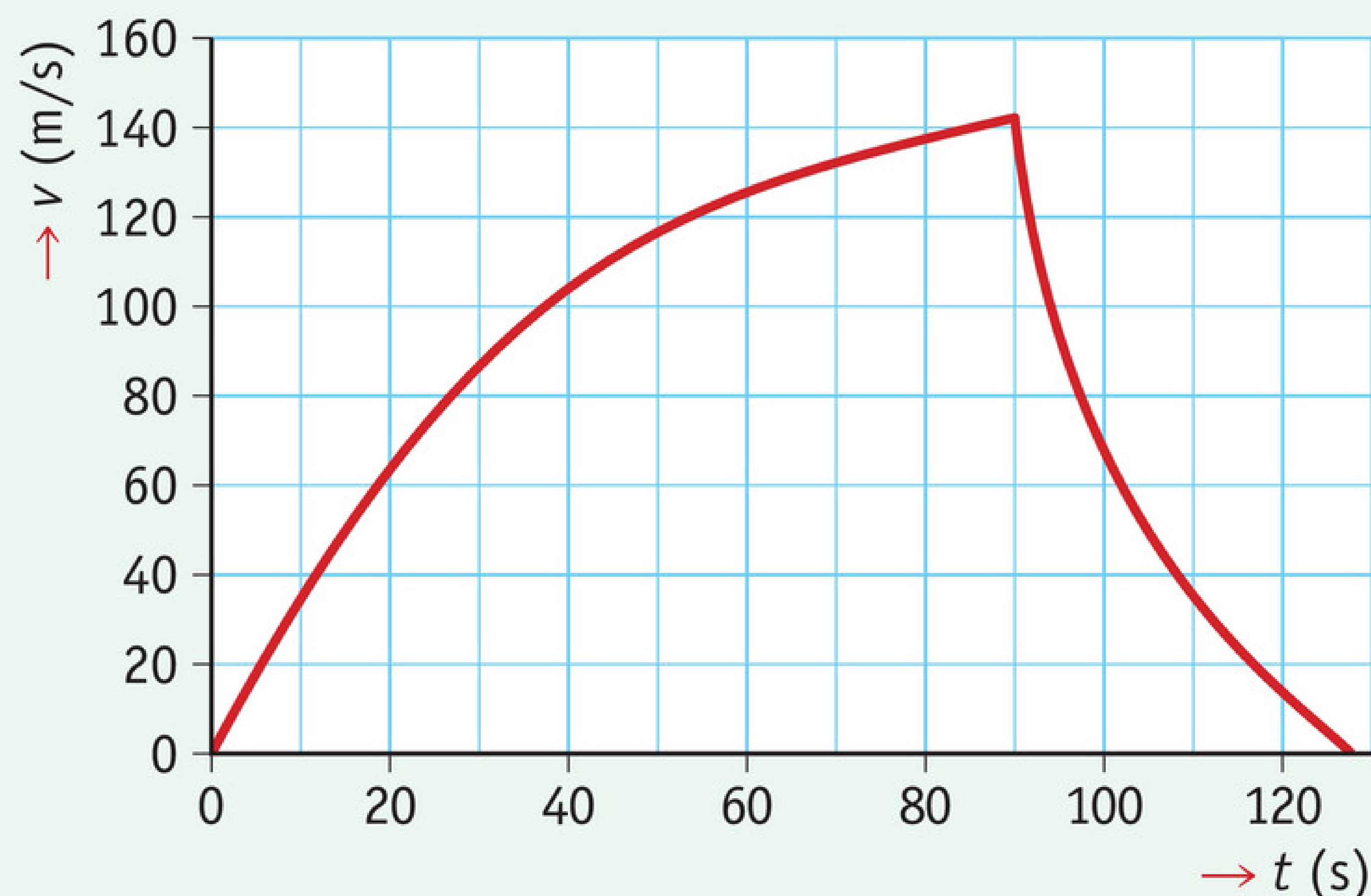


figuur 17 Welke diagrammen horen bij elkaar?

 Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS DE NIET-EENPARIGE VERSNELLING

10 In 2009 vestigde een team van Amerikaanse studenten het snelheidsrecord voor elektrische auto's. Hun *Buckeye Bullet* haalde ongeveer 500 km/h op een zoutvlakte in de staat Utah. De auto was heel laag en extreem goed gestroomlijnd. In figuur 18 staat het (*v*,*t*)-diagram van de recordrit.



figuur 18 Het (*v*,*t*)-diagram van de recordrit van de *Buckeye Bullet*.

a Je kunt de beweging verdelen in drie perioden.
Welke beweging voerde de auto in elk van die drie perioden uit?

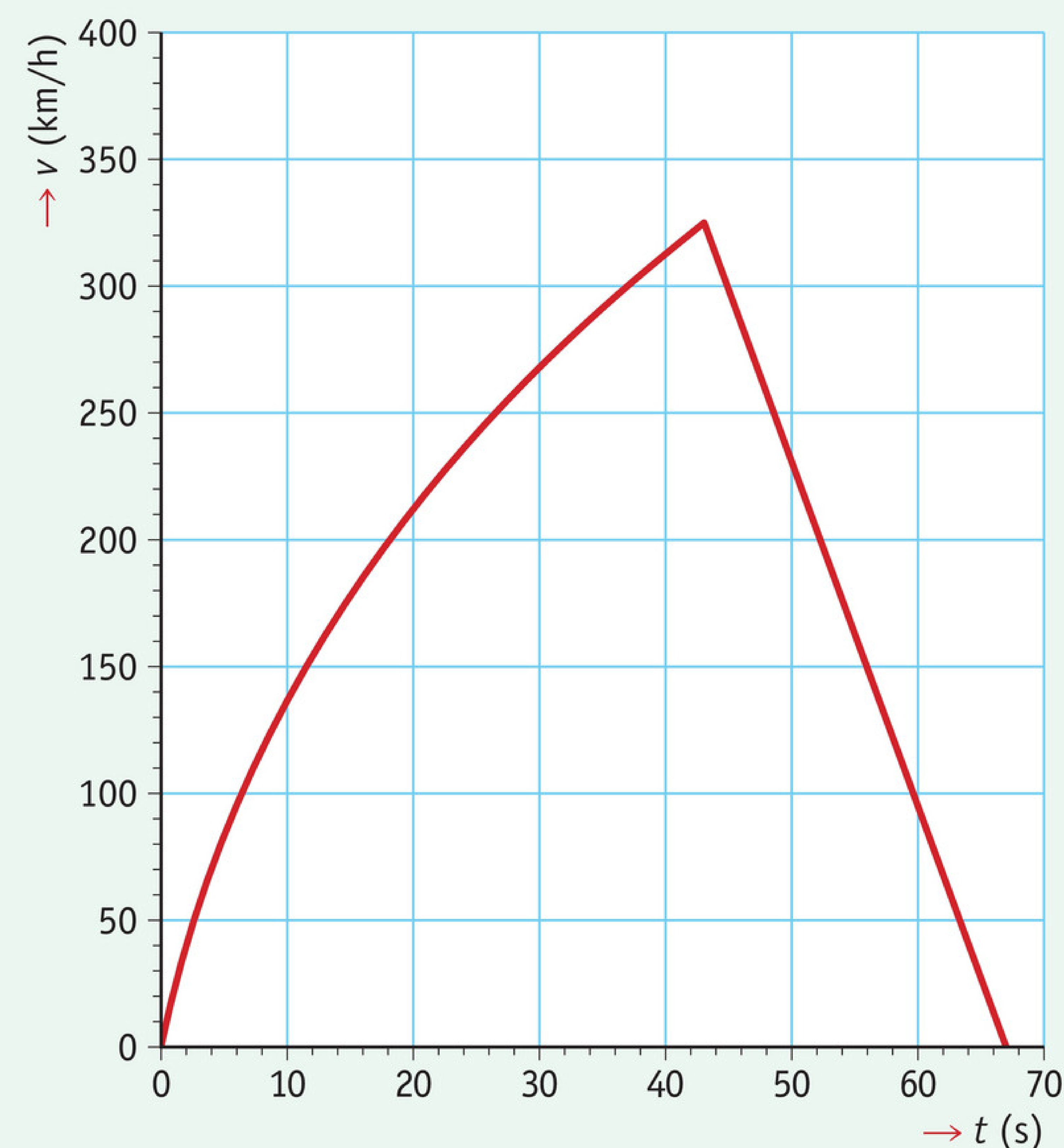
b Hoe kun je verklaren dat de versnelling in het eerste deel bijna constant is en in de tweede periode niet meer?

c Leg met behulp van figuur 18 uit of de remweg van de *Buckeye Bullet* groter is dan / even groot is als / kleiner is dan de afstand die nodig is om de topsnelheid te bereiken.

d Bepaal hoeveel km de auto aflegde totdat hij zijn topsnelheid behaalde.

e Bereken de gemiddelde snelheid tussen het tijdstip t = 0 s en het tijdstip waarop de auto zijn topsnelheid behaalde.

11 In figuur 19 zie je het (*v*,*t*)-diagram van een vliegtuig dat een noodstop moet uitvoeren op de landingsbaan.



figuur 19 Het (*v*,*t*)-diagram van de beweging van het vliegtuig.

a Toon aan dat de oppervlakte van één hokje overeenkomt met een verplaatsing van $1{,}39 \cdot 10^2$ m.

b Bepaal de gemiddelde snelheid van het vliegtuig tijdens deze beweging.

2 Kracht, massa en versnelling

LEERDOELEN

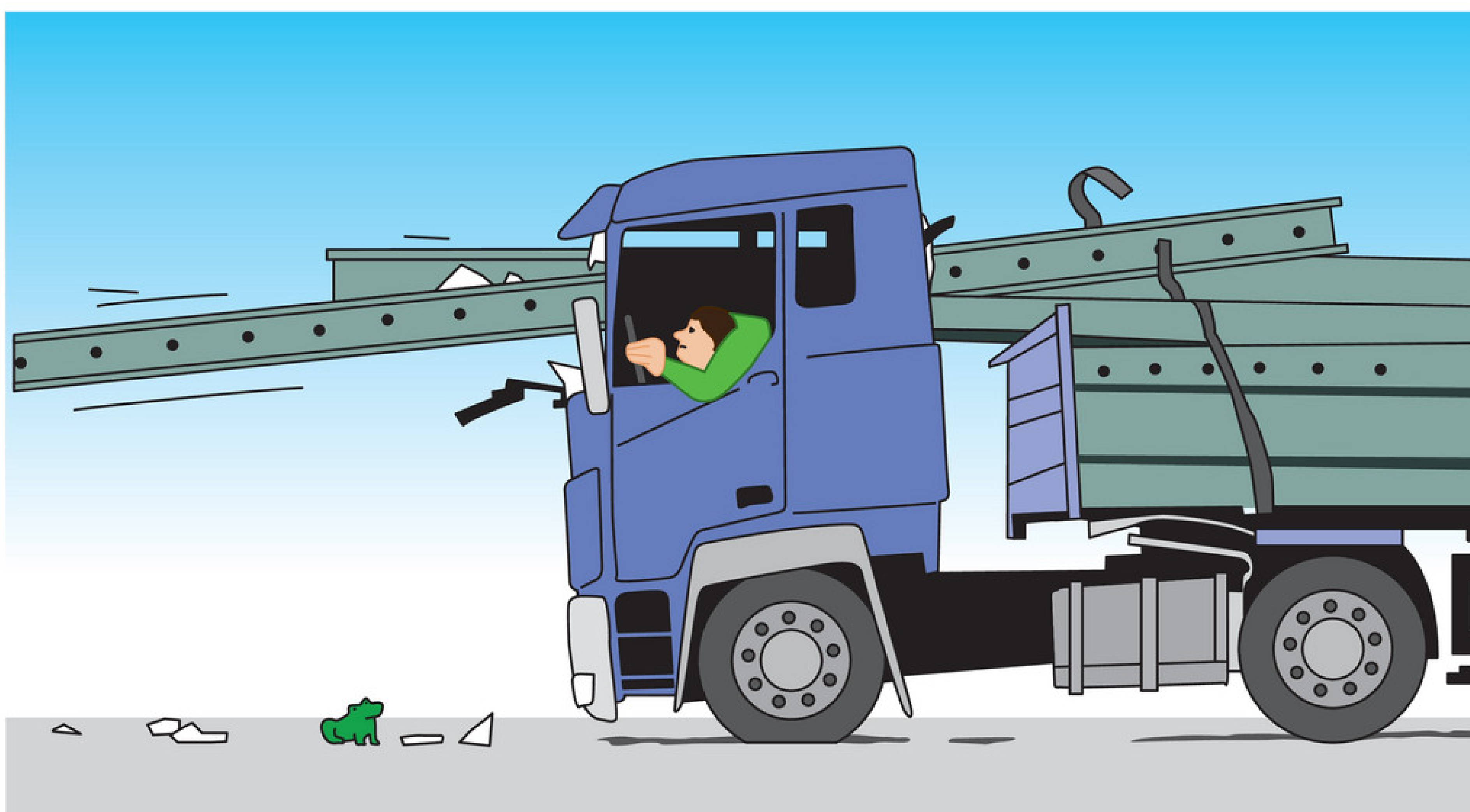
4.2.1 Je kunt het verband uitleggen tussen de massa en de traagheid van een voorwerp.
4.2.2 Je kunt het verband toelichten tussen de resultante, de massa en de versnelling.
4.2.3 Je kunt berekeningen uitvoeren met de tweede wet van Newton: $F = m \cdot a$
4.2.4 Je kunt uitleggen dat de valversnelling voor elk voorwerp in vrije val even groot is.
PLUS 4.2.5 Je kunt bij een val waarbij de luchtweerstandskracht niet wordt verwaarloosd het verband tussen kracht en beweging uitleggen en toelichten met berekeningen.

Als een vrachtwagen zwaarbeladen is, komt hij maar langzaam op gang. Hoe groter de massa van de lading, des te kleiner is de versnelling als de chauffeur steeds evenveel gas geeft. Hetzelfde merk je als je probeert weg te rijden terwijl er iemand achter op je fiets zit: het optrekken duurt dan veel langer.

TRAAGHEID

De massa heeft niet alleen invloed op de versnelling waarmee je een voorwerp kunt laten optrekken. De massa bepaalt ook hoe moeilijk het is om het voorwerp af te remmen of een andere richting op te laten gaan. Hoe groter de massa van een voorwerp, des te moeilijker kun je de snelheid of de bewegingsrichting veranderen. Een chauffeur rijdt daarom extra voorzichtig als zijn vrachtauto zwaarbeladen is.

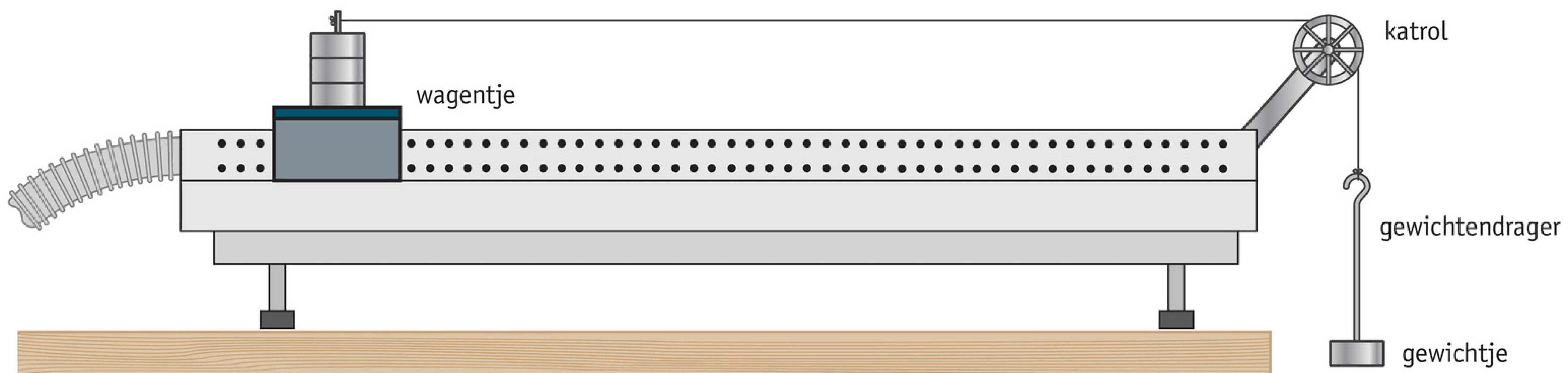
Een voorwerp met een grote massa heeft een grote **traagheid**. Er is een grote resultante nodig om de snelheid of de bewegingsrichting merkbaar te beïnvloeden. Een chauffeur die stalen balken vervoert, weet dat zijn lading een grote traagheid heeft. Hij let er daarom goed op dat de balken stevig worden vastgezet. Anders zullen de balken bij een noodstop doorgaan met bewegen, terwijl de vrachtauto tot stilstand komt (figuur 1).



figuur 1 Stalen balken hebben een grote massa en daardoor ook een grote traagheid.

DE TWEEDE WET VAN NEWTON

PROEF 2+3 Met de opstelling in figuur 2 kun je een wagentje versneld laten bewegen over een luchtkussenbaan. De baan heeft een groot aantal gaatjes waar lucht uit stroomt. Doordat het wagentje 'zweeft' op een laagje lucht, zijn de weerstandskrachten te verwaarlozen. De resultante *F* is daarom gelijk aan de zwaartekracht op de gewichtendrager en het gewichtje. De massa *m* van het wagentje en de gewichtjes kun je bepalen met een weegschaal en de versnelling *a* door de snelheidsverandering te meten met een bewegingssensor.



figuur 2 Een experiment met een luchtkussenbaan.

Uit dit soort proeven blijkt dat er een eenvoudig verband bestaat tussen de resultante, de massa en de versnelling. In formulevorm:

$$F_{res} = m \cdot a$$

Hierin is:
- F_{res} de resultante in newton (N);
- m de massa in kilogram (kg);
- a de versnelling in meter per seconde kwadraat (m/s^2).

Deze formule staat ook wel bekend als de **tweede wet van Newton**.

De definitie van de newton, de eenheid van kracht, is gebaseerd op de formule $F = m \cdot a$. Volgens die definitie is 1 N gelijk aan de (resulterende) kracht die een massa van 1 kg een versnelling geeft van 1 m/s^2.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Een auto trekt in 4,0 s met constante versnelling op van 0 km/h naar 54 km/h. De auto heeft een massa van 800 kg.
Bereken hoe groot de resultante is die de auto laat versnellen.

gegevens $v_b = 0$ m/s
$v_e = 54$ km/h = 15 m/s
$\Delta t = 4{,}0$ s
$m = 800$ kg

gevraagd $F_{res} = ?$

uitwerking $\Delta v = v_e - v_b = 15$ m/s

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{15}{4{,}0} = 3{,}75 \text{ m/s}^2$$

$$F_{res} = m \cdot a = 800 \times 3{,}75 = 3000 \text{ N} = 3{,}0 \text{ kN}$$

De resultante is dus 3,0 kN. De voortstuwende kracht op de auto is groter. Er zijn immers ook weerstandskrachten die overwonnen moeten worden.

DE VERSNELLING BEREKENEN

Een motor kan meestal veel sneller optrekken dan een personenauto. Dat komt doordat een motor een veel kleinere massa heeft. Als de resultante op de beide voertuigen even groot is, krijgt de motor daarom de grootste versnelling. Je kunt dat ook afleiden uit de formule $F_{res} = m \cdot a$. Als de resultante F_{res} even groot is, maar de massa m veel kleiner, moet de versnelling a wel veel groter zijn.

VOORBEELDOPDRACHT 2

In figuur 3 zie je een auto en een motor die naast elkaar staan. De massa van de auto (inclusief de bestuurder) is 900 kg, die van de motor is 300 kg. Als de voorrangsweg vrij is, trekken de auto en de motor beide op. Op beide voertuigen werkt daarbij een resultante van 1,8 kN.
Bereken de versnelling van beide voertuigen.

	auto:	motor:
gegevens	$F = 1{,}8$ kN $m = 900$ kg	$F = 1{,}8$ kN $m = 300$ kg
gevraagd	$a = ?$	$a = ?$
uitwerking	$a = \frac{F}{m} = \frac{1800}{900} = 2{,}0 \text{ m/s}^2$	$a = \frac{F}{m} = \frac{1800}{300} = 6{,}0 \text{ m/s}^2$



figuur 3 Een motor kan veel sneller optrekken dan een auto.

DE REMKRACHT BEREKENEN

Met de formule $F_{res} = m \cdot a$ kun je de resultante op een remmend voertuig berekenen. De letter a staat in dit geval voor de remvertraging (de snelheidsafname per seconde). De letter F staat zoals altijd voor de resultante. In dit geval is de resultante de totale remkracht die op het voertuig wordt uitgeoefend.

VOORBEELDOPDRACHT 3

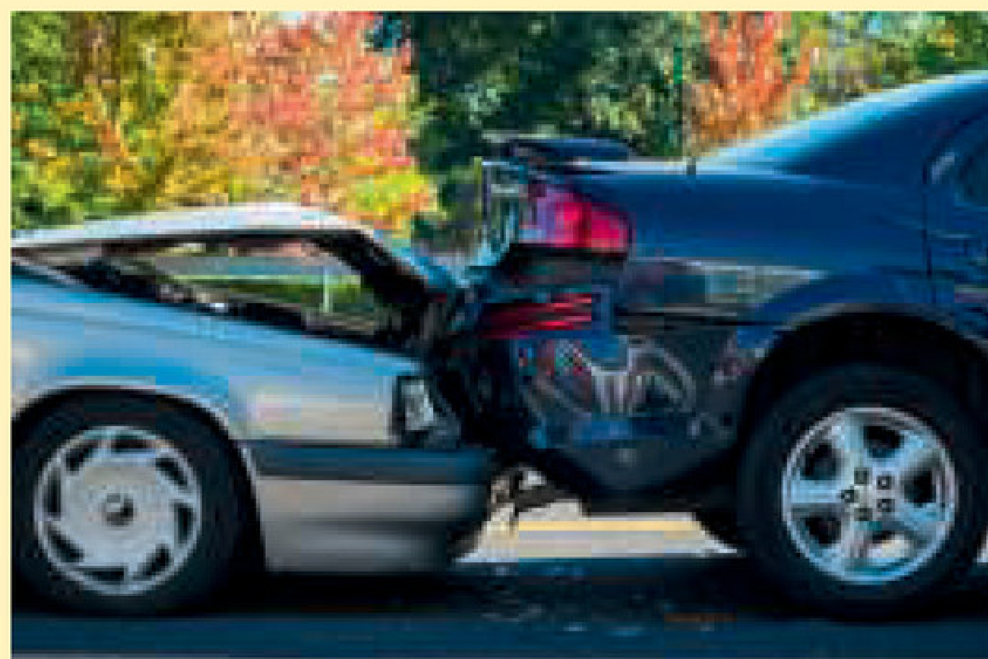
Een auto heeft een massa van 1300 kg. De remmen moeten voldoende remkracht kunnen leveren voor een remvertraging van minstens 5,2 m/s² (figuur 4).
Bereken hoe groot de remkracht minstens moet zijn.

gegevens $m = 1300$ kg
$a = -5{,}2$ m/s²

gevraagd $F_{res} = ?$

uitwerking $F_{res} = m \cdot a = 1300 \times -5{,}2 = -6760 \text{ N} = -6{,}8 \text{ kN}$

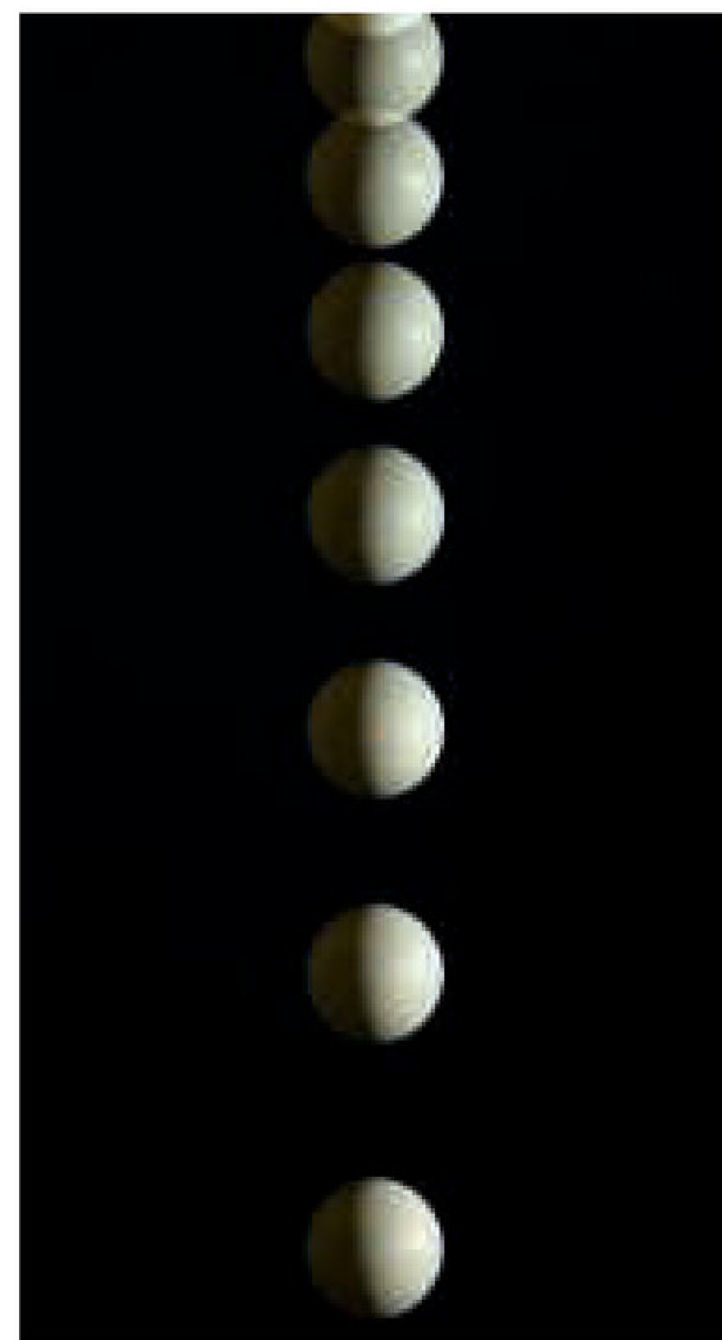
Je zegt dat de remkracht (na afronding) gelijk is aan 6,8 kN, maar je schrijft $F_{res} = -6{,}8$ kN.
Het minteken geeft aan dat de remkracht tegen de bewegingsrichting in werkt.



figuur 4 In deze situatie was de remkracht te klein.

DE VALVERSNELLING

In figuur 5 zie je een stroboscopische foto van een vallende pingpongbal. De afstand tussen twee opeenvolgende opnamen wordt steeds groter. Daaraan kun je zien dat het balletje versneld beweegt. Je kunt deze proef ook uitvoeren in een vacuüm gepompte buis. In dat geval werkt alleen de zwaartekracht op het balletje. Het beweegt dan in **vrije val**.



figuur 5 Een pingpongbal valt versneld naar beneden.

Voor een voorwerp in vrije val geldt dat de resultante F_{res} gelijk is aan de zwaartekracht: $F_{res} = F_z$. Er zijn geen andere krachten die op het voorwerp werken. Voor de zwaartekracht geldt dus niet alleen: $F_z = m \cdot g$, maar ook: $F_z = F_{res} = m \cdot a$

Als je deze twee formules combineert, krijg je: $m \cdot a = m \cdot g$; en na delen door m krijg je $a = g$

De **valversnelling** a in vrije val is dus altijd gelijk aan g. Bij experimenten op aarde is de valversnelling in vrije val dus altijd (afgerond) 9,8 m/s², om wat voor voorwerp het ook gaat. Om dit te benadrukken, wordt voor de valversnelling het symbool g gebruikt in plaats van a. De letter g staat dus symbool voor twee grootheden: de sterkte van de zwaartekracht (in N/kg) en de valversnelling (in m/s²).

PLUS VALLEN IN LUCHT

Een valbeweging in lucht verloopt heel anders dan een valbeweging in vacuüm. Dat zie je bijvoorbeeld bij een parachutesprong. Op een parachutist die uit een vliegtuig springt, werken twee krachten: de zwaartekracht en de luchtweerstandskracht. De zwaartekracht is steeds even groot, maar de luchtweerstandskracht is veranderlijk: hoe sneller de parachutist valt, des te groter deze wordt.

De luchtweerstandskracht is evenredig met het kwadraat van de snelheid. Als de valsnelheid 2× keer zo groot wordt, dan wordt de luchtweerstandskracht 4× zo groot. De parachutist kan de luchtweerstandskracht verder vergroten door zijn armen en benen uit te spreiden. Hierdoor neemt zijn frontaal oppervlak toe. Dat is het oppervlak van de parachutist dat je ziet als je hem van onderen fotografeert, terwijl hij recht op je af valt.

In het begin beweegt de parachutist versneld. Maar doordat zijn snelheid steeds groter wordt, neemt de luchtweerstandskracht snel toe. Al na enkele seconden wordt een evenwicht bereikt: de zwaartekracht en de luchtweerstandskracht heffen elkaar op. De parachutist valt vanaf dat moment met een constante snelheid van ongeveer 120 km/h naar beneden (figuur 6a).

Als de parachute opengaat, wordt de totale luchtweerstandskracht ineens veel groter. Het frontaal oppervlak neemt in een keer zeer sterk toe. De parachutist beweegt nu vertraagd verder. De snelheid – en dus ook de luchtweerstandskracht – neemt af, tot er opnieuw een evenwicht wordt bereikt. Vanaf dat moment zweeft de parachutist met een constante snelheid van ongeveer 18 km/h naar de aardbodem (figuur 6b).

figuur 6 Parachutisten op foto a vóór (120 km/h) en op foto b na (18 km/h) het opentrekken van de parachute.


a


b

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Welk verband bestaat er tussen de resultante, de massa en de versnelling?
b Hoe luidt de definitie van de newton (N), de eenheid van kracht?
c Waardoor kan een motor meestal veel sneller optrekken dan een personenauto?
d Wanneer mag je een val een vrije val noemen?

2 Een volgeladen vrachtwagen heeft een veel grotere traagheid dan een lege vrachtwagen.
Hoe merkt een vrachtwagenchauffeur van een volgeladen vrachtwagen dat:

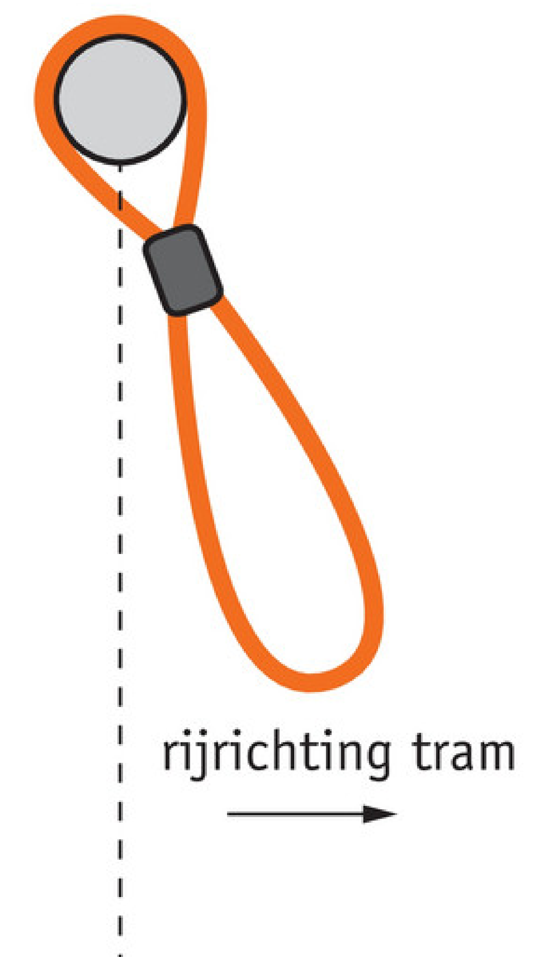
a bij het optrekken?
b bij het nemen van bochten?
c bij het afremmen?

TOEPASSING

3 In veel trams hangen lussen. Passagiers kunnen zich aan zo'n lus vasthouden. Zolang de tram stilstaat, hangt de lus verticaal naar beneden. Bij een tram in beweging is dat niet altijd zo. Je ziet dat de lus een hoek maakt met de verticaal (figuur 7).
Geef voor de situatie van deze figuur aan welk soort beweging de tram uitvoert.

○ A De tram rijdt met constante snelheid vooruit.
○ B De tram rijdt met constante snelheid achteruit.
○ C De tram remt af.
○ D De tram trekt op.

Naar: IJSO



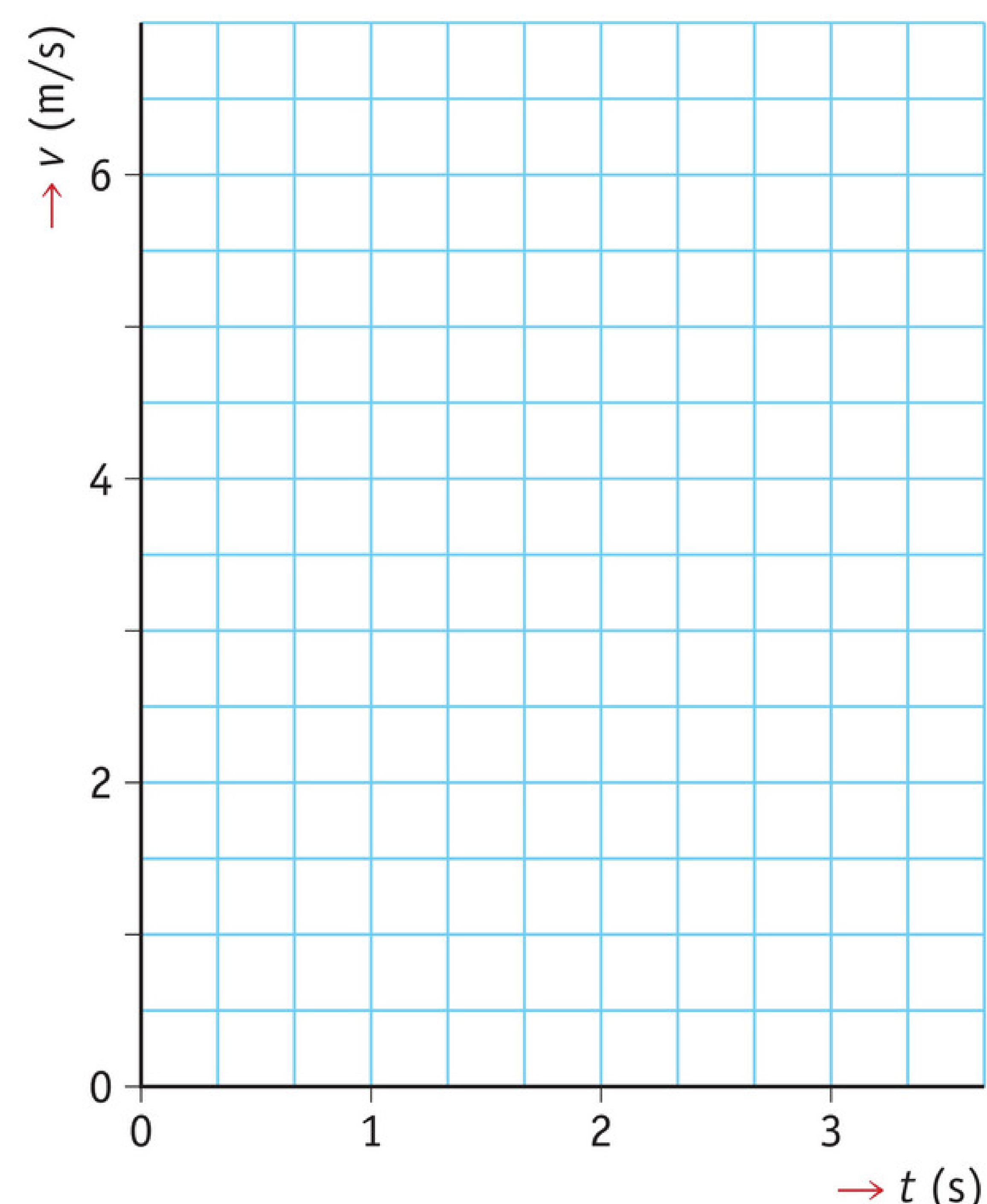
figuur 7 Een lus in een tram.

4 Een elektrische scooter trekt in 2,5 s op van 0 naar 36 km/h. De scooter heeft (inclusief berijder) een massa van 160 kg. Je mag aannemen dat de beweging eenparig versneld is.

a Bereken de versnelling.
b Bereken hoe groot de resultante is die de scooter laat versnellen.

5 De Airbus A380-800 is het grootste passagiersvliegtuig ter wereld. De motoren leveren bij de start een stuwkracht van $1{,}2 \cdot 10^6$ N. De massa (inclusief brandstof en lading) is $5{,}6 \cdot 10^5$ kg.

a Bereken de versnelling gedurende de eerste seconden van de start. Verwaarloos de weerstandskrachten.
b Toon aan dat de snelheid van de Airbus na 3 s gelijk is aan 6,3 m/s (23 km/h).
c Teken in figuur 8 het (v,t)-diagram van de beweging van de Airbus tijdens de eerste drie seconden.
d Bepaal de afstand die de Airbus aflegt in de eerste drie seconden.



figuur 8 Het (v,t)-diagram van een startende Airbus.

6 Lees de tekst in figuur 9.

De natuurkunde van 's werelds snelste man

De oud-kampioen op de 100 meter en 200 meter sprint, Usain Bolt, won acht olympische gouden medailles en is elfvoudig wereldkampioen op diverse sprintafstanden.
De sleutel tot Bolts succes was de horizontale kracht die hij kon ontwikkelen. Hij kwam uit de startblokken met een versnelling van bijna 10 m/s², waarbij hij een (horizontale) kracht uitoefende van 817 N. Bolt bleek als een van de weinigen deze kracht over de hele 100 meter te behouden. Doordat de luchtweerstand snel toenam, nam zijn versnelling na de start snel af. Zijn versnelling werd tussen de vierde en vijfde seconde 0 m/s² en hij legde de rest van de race af met een constante snelheid van 12,2 m/s.



Naar: www.gizmag.com

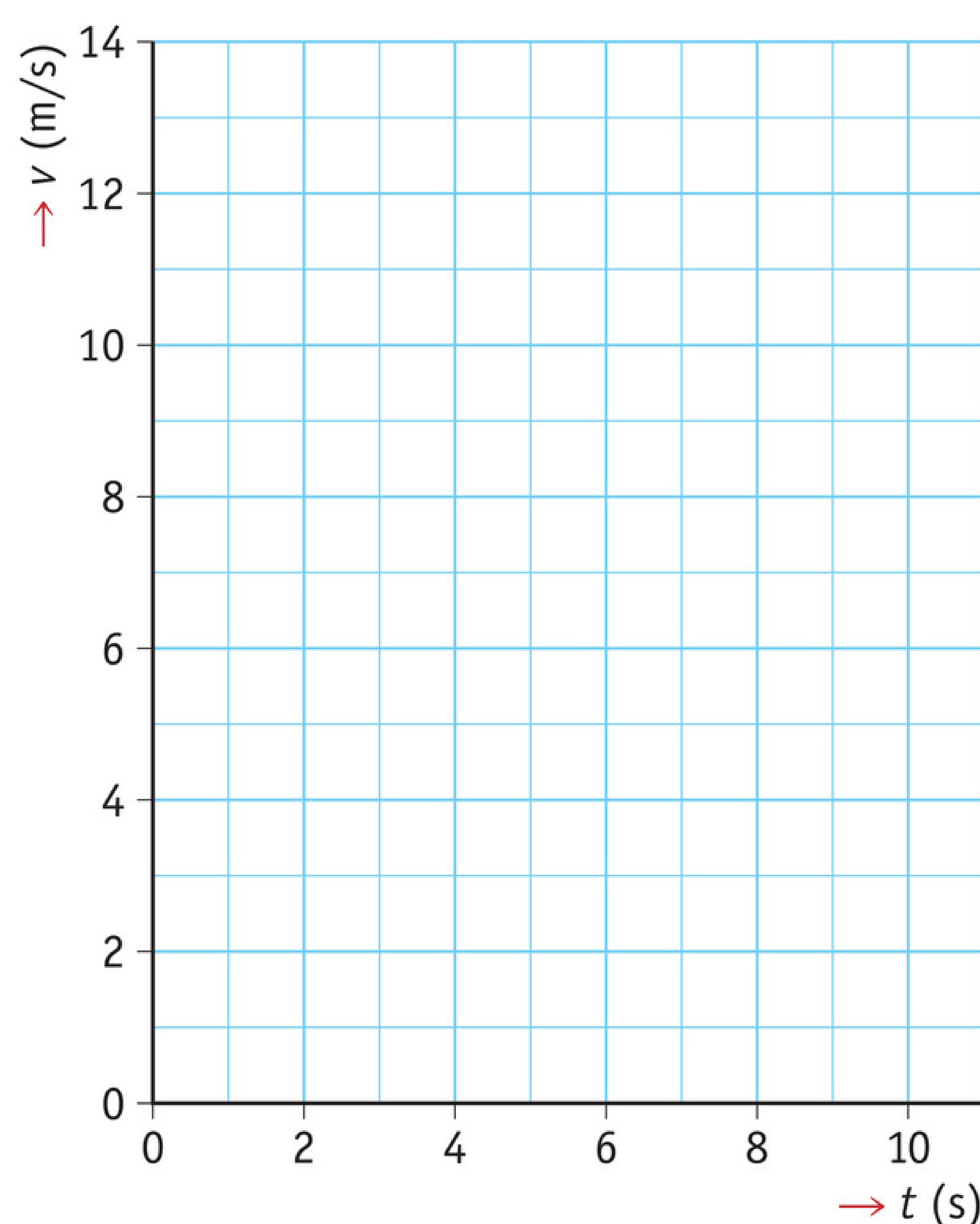
figuur 9 Een internetartikel over de legendarische Usain Bolt.

a In de tekst staat dat Bolt een kracht uitoefent.
Waarop oefent hij die kracht uit?

b Maak met behulp van de gegevens in de tekst een schatting van de massa van Usain Bolt. Tip: verwaarloos de weerstandskrachten tijdens de start.

c Schets in figuur 10 het (*v*,*t*)-diagram van een 100 meterrace van Usain Bolt met behulp van de gegevens in de tekst.

d Tijdens een wedstrijd over 100 m legt Bolt in de eerste 4,0 s een afstand van 30 m af.
Vanaf de vierde seconde versnelt hij niet meer, en legt hij de rest van de race af met een constante snelheid van 12,2 m/s.
Bereken de eindtijd van Bolt in deze race.



figuur 10 De race van Usain Bolt.

★ 7 In figuur 11 zie je een testrapport van de Kia ProCeed.

maten en gewichten	
tankinhoud	50 L
gewicht	1305 kg
aanhanger	600 kg
aanhanger geremd	1410 kg
prestaties	
versnellingen	7
acceleratie 0 naar 100 km/h	9,4 s
topsnelheid	205 km/h

Bron: www.autozine.nl



figuur 11 Een testrapport van de Kia ProCeed.

a De aanduiding ‘gewicht’ is natuurkundig niet juist.
Om welke natuurkundige grootheid gaat het hier dan wel?

b In het testrapport staat hoe snel de Kia ProCeed optrekt van 0 naar 100 km/h.
Bereken hoe groot de (gemiddelde) resultante op de Kia ProCeed daarbij is.

c De voortstuwende kracht op de auto is (veel) groter dan de kracht die je bij opdracht b hebt berekend.
Geef hiervoor een verklaring.

d In figuur 11 staat ook vermeld hoe groot de massa van een ‘aanhanger’ en een ‘aanhanger geremd’ maximaal mag zijn.
Leg uit wat wordt bedoeld met een ‘aanhanger geremd’.

e Verklaar waarom de massa van een ‘aanhanger geremd’ veel groter mag zijn dan de massa van een ‘aanhanger’.

f Twee Kia ProCeeds, A en B, trekken tegelijk zo snel mogelijk op. Achter ProCeed A hangt een aanhanger van 1300 kg, achter ProCeed B hangt niets. Verder verschillen de auto’s niet van elkaar.
Toon aan dat de versnelling van ProCeed B ongeveer 2× zo groot is als de versnelling van ProCeed A.

★ 8 Tijdens een maanlanding in 1971 deed de Amerikaanse astronaut David Scott een eenvoudig experiment (figuur 12). Hij liet een hamer en een veer tegelijk van dezelfde hoogte vallen. Op een video die van dit experiment is gemaakt, zie je dat de twee voorwerpen op hetzelfde moment de maanbodem bereiken.

a Leg uit waardoor het resultaat van de proef op de maan anders is dan op aarde.

b Uit een videometing blijkt dat de veer en de hamer beide na 1,4 s neerkomen met een snelheid van 2,3 m/s.
Bereken de valversnelling op de maan.

c Toon aan dat de twee voorwerpen 1,6 m boven de maanbodem werden losgelaten.



figuur 12 Een valexperiment op de maan.



Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS VALLEN IN LUCHT

9 Sannes hobby is parachutespringen. Tijdens een sprong werken er twee krachten op Sanne en haar parachute: de luchtweerstandskracht ($F_{w,l}$) en de zwaartekracht (F_z).

a Sanne springt uit het vliegtuig. Haar snelheid neemt toe van 0 naar 200 km/h.
$F_{w,l}$ is *groter dan / even groot als / kleiner dan* F_z.

b Sanne valt een poosje met een constante snelheid van 120 km/h naar beneden.
$F_{w,l}$ is *groter dan / even groot als / kleiner dan* F_z.

c Sannes parachute gaat open. Haar snelheid neemt nu af van 120 naar 18 km/h.
$F_{w,l}$ is *groter dan / even groot als / kleiner dan* F_z.

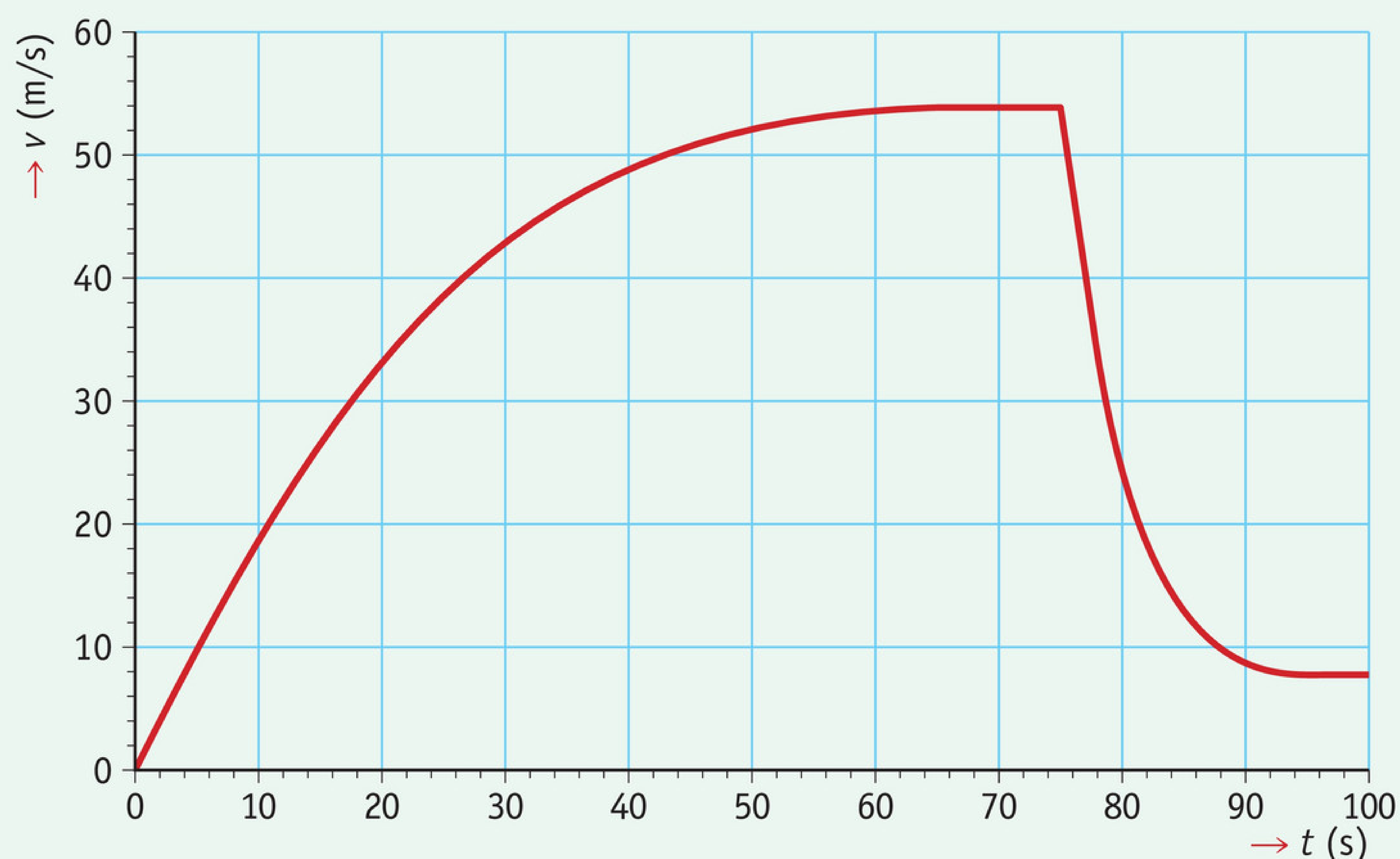
d Sanne zweeft met een constante snelheid van 18 km/h naar het landingsterrein.
$F_{w,l}$ is *groter dan / even groot als / kleiner dan* F_z.

10 In figuur 13 zie je hoe de snelheid van een skydiver verandert tijdens zijn sprong.

a Bepaal de maximale constante snelheid van de skydiver tijdens de val zonder parachute, en met de parachute. Leg je antwoord uit.

b Je kunt de luchtweerstandskracht berekenen met de formule $F_{w,l} = ½ \cdot C_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$. Zie voor meer uitleg de plusstof bij paragraaf 3 in hoofdstuk 2.
De massa van de skydiver met parachute is 100 kg. Het frontaal oppervlak van de skydiver tijdens de val zonder parachute is 0,80 m². De dichtheid van de lucht is 1,29 kg/m³.
Bereken de waarde van C_w van de skydiver zonder parachute.

c Het antwoord dat je bij opdracht b hebt gevonden, is in werkelijkheid anders. Dit komt omdat de dichtheid van de lucht op grotere hoogte kleiner is dan 1,29 kg/m³.
Leg uit of het antwoord dat je bij opdracht b hebt gevonden iets groter of juist iets kleiner is dan de werkelijke waarde. De invloed van de grotere hoogte op de grootte van de zwaartekracht mag je verwaarlozen.



figuur 13 Het (v,t)-diagram van de skydiver.

3 Kracht en arbeid

LEERDOELEN

4.3.1 Je kunt verschillende manieren beschrijven om een voortstuwende kracht te produceren.
4.3.2 Je kunt uitleggen hoe de arbeid afhangt van de afstand en de voortstuwende kracht.
4.3.3 Je kunt berekeningen uitvoeren met de arbeid, de (voortstuwende) kracht en de afstand.
4.3.4 Je kunt het energiestroomdiagram van brandstof- en elektromotoren tekenen en toelichten.
4.3.5 Je kunt uitleggen dat de arbeid even groot is als de hoeveelheid nuttig gebruikte energie.
4.3.6 Je kunt het rendement van brandstofmotoren en elektromotoren berekenen.
PLUS 4.3.7 Je kunt berekeningen uitvoeren met snelheid, kracht en vermogen.

Als je fietst, leveren je spieren een voortstuwende kracht. Dat kunnen je spieren niet zomaar. Ze hebben daarvoor chemische energie nodig. Tijdens een lange fietstocht moet je regelmatig eten, om de voorraad chemische energie voor je spieren op peil te houden.

ENERGIE OM TE BEWEGEN

Een beweging op aarde blijft niet uit zichzelf altijd doorgaan, zoals in de ruimte. Er zijn altijd weerstandskrachten die de beweging tegenwerken. Daarom is er op aarde altijd een voortstuwende kracht nodig om in beweging te blijven.

Er zijn verschillende manieren om zo'n voortstuwende kracht te produceren.

- Een automotor gebruikt de chemische energie in benzine om de auto aan te drijven. Als de benzine op is, kan de motor geen voortstuwende kracht meer leveren. Door te tanken, voorzie je de auto van nieuwe chemische energie.
- Een trein krijgt elektrische energie via de bovenleiding (figuur 1). De trein heeft die energie nodig om vooruit te komen. Als de spanning op de bovenleiding uitvalt, komt de trein tot stilstand.
- Een zeilboot maakt gebruik van de bewegingsenergie van de wind. Doordat de bewegende lucht langs de zeilen beweegt, kunnen die een voortstuwende kracht leveren. Hoe harder het waait, des te krachtiger wordt de boot voortgestuwd.

Elk vervoermiddel op aarde maakt gebruik van een bepaald soort energie om in beweging te komen en te blijven. Als de bron van die energie uitgeput raakt, valt de voortstuwende kracht weg. Het vervoermiddel komt dan al snel tot stilstand.



figuur 1 Een trein krijgt elektrische energie via de bovenleiding.

ARBEID

De motor van een voertuig kan maar een deel van de chemische energie nuttig gebruiken. Met dit deel van de energie wordt **arbeid** verricht: er wordt een kracht geproduceerd die het voertuig voortstuwt van het vertrekpunt naar de bestemming. Hoe meer arbeid een motor moet verrichten, des te meer energie hij nodig heeft.

Hoeveel arbeid er wordt verricht, hangt onder andere af van de afgelegde afstand. Denk bijvoorbeeld aan een elektrische locomotief die dertig wagons vooruit trekt. Om een afstand van 500 km af te leggen, heeft de locomotief twee keer zoveel energie nodig als om een afstand van 250 km af te leggen. Als de afstand verdubbelt, verdubbelt de arbeid ook.

Behalve de afstand is ook de trekkracht van belang. Als de trein niet uit dertig, maar uit zestig wagons bestaat, is de benodigde trekkracht twee keer zo groot. Je kunt aan die trekkracht komen door twee locomotieven voor de trein te zetten. Die twee locomotieven verbruiken tijdens de reis wel twee keer zoveel energie als één locomotief voor dertig wagons. Ook in dit geval verdubbelt de arbeid.

Je kunt de arbeid berekenen door de afstand en de geleverde kracht te vermenigvuldigen. In formulevorm:

$$W = F \cdot s$$

Hierin is:

- W de arbeid die de kracht heeft verricht, in newtonmeter (Nm);
- F de kracht op het bewegende voorwerp in newton (N);
- s de afstand die het voorwerp heeft afgelegd in meter (m).

VOORBEELDOPDRACHT 1

Annelies en Willemijn gaan op vakantie. Ze hangen hun caravan achter de auto en rijden daarna naar de camping, 50 km verderop (figuur 2). De auto oefent daarbij een trekkracht van 1,2 kN op de caravan uit.
Bereken de arbeid die op de caravan wordt verricht.

gegevens $F = 1{,}2 \text{ kN} = 1{,}2 \cdot 10^3 \text{ N}$
$s = 50 \text{ km} = 50 \cdot 10^3 \text{ m}$

gevraagd $W = ?$

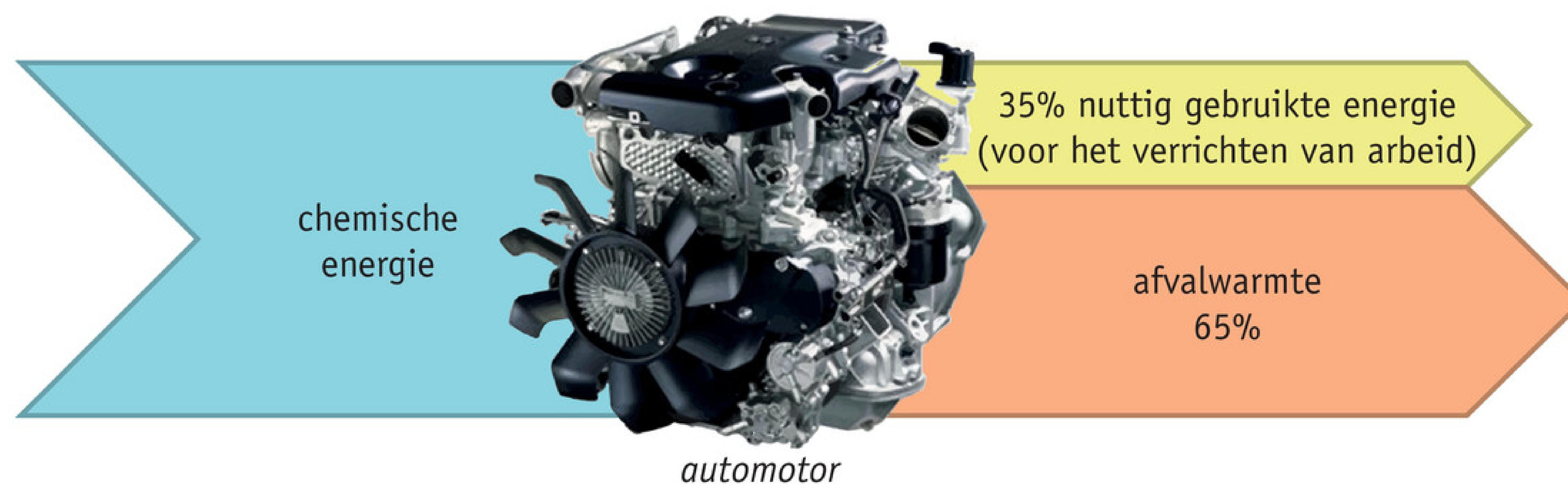
uitwerking $W = F \cdot s = 1{,}2 \cdot 10^3 \times 50 \cdot 10^3 = 6{,}0 \cdot 10^7 \text{ Nm}$ (60 MJ)



figuur 2 De caravan achter de auto van Annelies en Willemijn.

NEWTONMETER EN JOULE

In figuur 3 zie je het energiestroomdiagram van een automotor. De motor gebruikt iets meer dan een derde van de toegevoerde chemische energie om arbeid te verrichten. De rest van de energie gaat verloren als afvalwarmte. De motor moet gekoeld worden om die afvalwarmte kwijt te raken. Daarnaast voeren ook de hete uitlaatgassen een deel van de warmte af.



figuur 3 Het energiestroomdiagram van een automotor.

De verrichte arbeid is evenredig met de nuttig gebruikte energie: voor een bepaalde hoeveelheid nuttig gebruikte energie krijg je altijd dezelfde hoeveelheid arbeid. Daarom zijn de eenheden van arbeid en energie op elkaar afgestemd. De eenheid van energie, de joule, is zo gedefinieerd dat ze exact overeenkomt met de eenheid van arbeid, de newtonmeter: 1 J = 1 Nm

Tijdens het rijden wordt de nuttig gebruikte energie omgezet in andere vormen van energie, zoals bewegingsenergie (tijdens het optrekken), warmte (door weerstandskrachten van de lucht en het wegdek) en geluid. Arbeid is dus niet zelf een vorm van energie. Arbeid is een proces waarbij energie wordt omgezet (waarbij de hoeveelheid arbeid even groot is als de hoeveelheid nuttig gebruikte energie).

HET RENDEMENT VAN EEN MOTOR

In veel situaties is de arbeid eenvoudig te bepalen. Je meet de kracht en de afstand en daarna gebruik je de formule $W = F \cdot s$. Zo kom je er gemakkelijk achter hoeveel energie nuttig wordt gebruikt. Daarna kun je bijvoorbeeld het rendement van een motor bepalen. Gebruik daarvoor de formule:

$$\eta = \frac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100\%$$

E_{nut} (de nuttig gebruikte energie) is hierbij gelijk aan de verrichte arbeid. Omrekenen is niet nodig, doordat 1 Nm arbeid overeenkomt met 1 J nuttig gebruikte energie.

De totale hoeveelheid verbruikte energie bepaal je bij een benzinemotor door het benzineverbruik te meten. Daarna bepaal je de hoeveelheid vrijgekomen energie door het benzineverbruik te vermenigvuldigen met de stookwaarde (in dit soort situaties ook wel verbrandingswarmte genoemd). In voorbeeldopdracht 2 zie je hoe het rendement van een elektromotor wordt bepaald.

VOORBEELDOPDRACHT 2

Dimah gebruikt de opstelling van figuur 4 om het rendement van een kleine elektromotor te bepalen. De motor doet er 6,0 s over om het houtblok 1,8 m naar zich toe te trekken. Tijdens die 6,0 s geeft de spanningsmeter 1,5 V aan en de stroommeter 0,64 A. De trekkracht op het houtblok is 2,5 N.
Bereken het rendement van de motor.

1 Bereken E_{tot} = hoeveel elektrische energie de batterij heeft geleverd.

gegevens $U = 1{,}5$ V
$I = 0{,}64$ A
$t = 6{,}0$ s

gevraagd $E_{tot} = E_{el} = ?$

uitwerking $P_{el} = U \cdot I = 1{,}5 \times 0{,}64 = 0{,}96$ W
$E_{el} = P \cdot t = 0{,}96 \times 6{,}0 = 5{,}8$ J

2 Bereken E_{nut} = hoeveel energie de motor nuttig heeft gebruikt.

gegevens $F = 2{,}5$ N
$s = 1{,}8$ m

gevraagd $E_{nut} = W = ?$

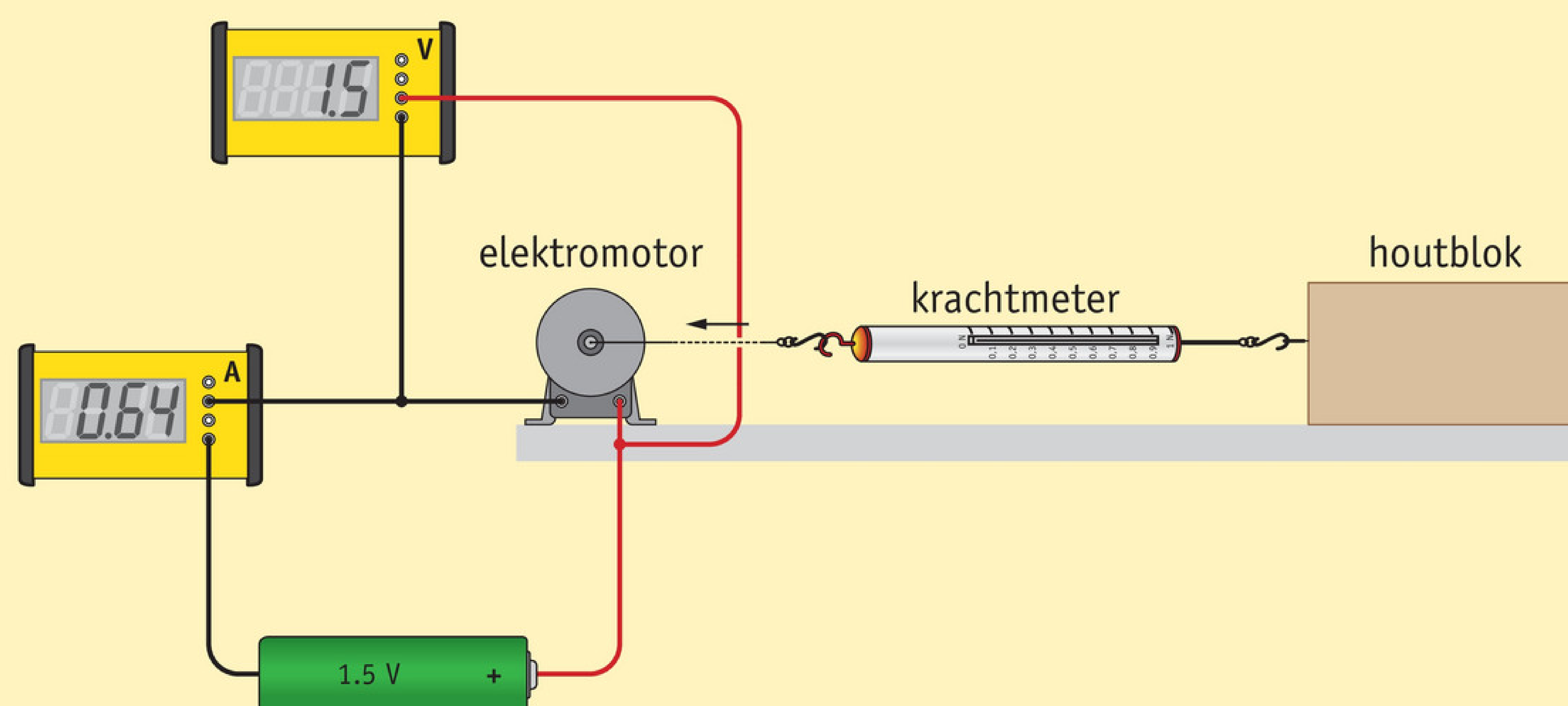
uitwerking $W = F \cdot s = 2{,}5 \times 1{,}8 = 4{,}5$ Nm

3 Bereken het rendement van de elektromotor.

gegevens $E_{tot} = 5{,}8$ J
$E_{nut} = 4{,}5$ J

gevraagd $\eta = ?$

uitwerking $\eta = \frac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100\% = \frac{4{,}5}{5{,}8} \cdot 100\% = 78\%$



figuur 4 De proef van Dimah.

PLUS VERMOGEN IN PK

De eenheid van vermogen, de watt, is vernoemd naar de Schotse ingenieur James Watt. Aan het eind van de achttiende eeuw leverde hij een belangrijke bijdrage aan de ontwikkeling van de stoommachine. Die moest vaak het werk overnemen dat eerder door paarden werd gedaan (figuur 5) en daarom werd er bij de beoordeling van een stoommachine gekeken naar hoeveel paarden deze kon vervangen.



figuur 5 Voordat de stoomtram en elektrische tram er waren, werden trams voortgetrokken door paarden.

James Watt introduceerde hiervoor de eenheid **paardenkracht**, afgekort pk. Verwarrend genoeg is dit geen eenheid van kracht, maar van vermogen. Een pk is de arbeid die een werkpaard per seconde kan leveren, ofwel het nuttige vermogen. In formulevorm:

$$P_{nut} = \frac{W}{t}$$

Hierin is:
- P_{nut} het nuttige vermogen dat de machine levert in watt (W);
- W de arbeid die het paard (later: de machine) verricht in newtonmeter (Nm);
- t de tijd in seconde (s).

VOORBEELDOPDRACHT 3

James Watt definieerde 1,0 pk als het vermogen van een paard om een massa van 150 kg in 1,0 minuut 30 m op te hijsen.
Bereken met hoeveel watt 1,0 pk overeenkomt.

gegevens
m = 150 kg
t = 1,0 min = 60 s
s = 30 m

gevraagd
P_{nut} = ? W

uitwerking
Op een massa van 150 kg werkt een zwaartekracht van:
$F_z = m \cdot g = 150 \times 9{,}8 = 1470$ N
De arbeid die nodig is om deze massa 30 m op te hijsen is:
$W = F \cdot s = 1470 \times 30 = 44\,100$ J
Het vermogen dat hiervoor nodig is, is gelijk aan:
$P_{nut} = \frac{W}{t} = \frac{44\,100}{60} = 7{,}4 \cdot 10^2$ W
dus: 1,0 pk = $7{,}4 \cdot 10^2$ W

Nu, bijna 250 jaar na de industriële revolutie, wordt de pk nog steeds gebruikt, bijvoorbeeld voor het vermogen van een automotor (figuur 6).



figuur 6 Lewis Hamiltons formule 1-Mercedes heeft een maximaal vermogen van $1{,}0 \cdot 10^3$ pk en vervangt dus wel duizend paarden.



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Waarom is er op aarde altijd een voortstuwende kracht nodig om in beweging te blijven?

b Hoe kun je de arbeid berekenen die op een bewegend voorwerp wordt verricht?

c Wat is het verband tussen arbeid en energie?

d Waaraan merk je dat een automotor een groot deel van de toegevoerde chemische energie *niet* nuttig gebruikt?

2 Je kunt het vermogen van een motor bepalen door metingen te doen en berekeningen uit te voeren, net als bij andere energieomzetters.

a Hoe kun je bepalen hoeveel energie een motor nuttig gebruikt?

b Hoe kun je bepalen hoeveel chemische energie een benzinemotor verbruikt?

c Met welke formule kun je nu het rendement berekenen?

TOEPASSING

3 Voor het vervoer van mensen en goederen zijn grote hoeveelheden energie nodig.

a Noteer drie vervoersmiddelen die chemische energie verbruiken.

b Noteer drie vervoersmiddelen die elektrische energie verbruiken.

c Vroeger werd op grote schaal gebruikgemaakt van zeilschepen voor transport. Van welk soort energie maakte zo'n zeilschip gebruik?

4 In figuur 7 zie je een situatie waarin veel arbeid wordt verricht.

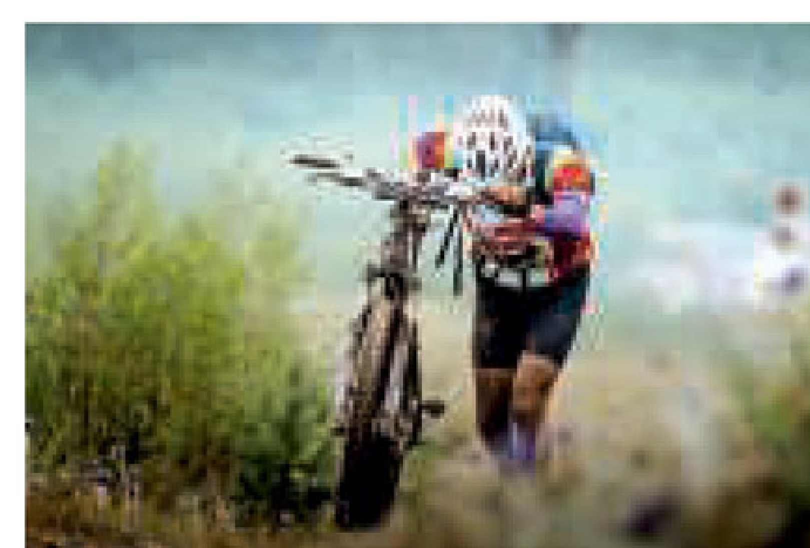
a Wat levert in deze situatie de voortstuwende kracht?

b Welk soort energie is nodig om die kracht te produceren?

c In welke vorm wordt deze energie aan het lichaam toegevoerd?

d Waaraan merkt de mountainbiker dat er ook veel afvalwarmte ontstaat?

e Hoe zorgt het lichaam ervoor dat het door die afvalwarmte niet oververhit raakt?



figuur 7 Een mountainbiker tijdens een race.

5 In figuur 8 zie je hoe een schip wordt voortgetrokken tijdens een tocht voor oude vrachtschepen. Om het schip met een constante snelheid van 2,5 km/h door het kanaal te trekken, moeten de mannen samen een trekkracht uitoefenen van 700 N. Het kanaal waar ze het schip doorheen trekken, is 5,5 km lang.

a Welke kracht werkt hier vooral de beweging tegen?
b Hoe groot zijn alle tegenwerkende krachten bij elkaar?
c Hoe groot is de arbeid die de mannen verrichten?



figuur 8 Twee mannen in actie voor een trekschuit.

6 Bereken de arbeid die in de volgende situaties wordt verricht.

a Een speelgoedlocomotief trekt vijf wagons één keer een modelspoorbaan rond. De trekkracht is 0,10 N, de afstand 4,6 m.
b Peter trekt een kar met zijn twee vriendjes erin door de straat. De trekkracht is 52 N, de afstand 85 m.
c Twee paarden trekken een huifkar vol toeristen over een zandweg. Hun (gezamenlijke) trekkracht is 1,3 kN, de afstand 1,2 km.
d Een diesellocomotief trekt een goederentrein van Amsterdam naar Arnhem. De trekkracht is 150 kN, de afstand 98 km.
e Een zeesleepboot sleept een booreiland van Rotterdam naar de Perzische golf. Volgens een persbericht is de trekkracht 1250 kN en de afstand 13 000 km. Ga ervan uit dat deze getallen elk op drie (significante) cijfers betrouwbaar zijn.

7 Een elektromotortje hijst een blokje omhoog. Het levert daarbij een constante hijskracht van 2,0 N. Het motortje werkt op een spanning van 9,0 V; de stroomsterkte door het motortje is 0,20 A.

a Bereken het opgenomen vermogen.
b Het motortje doet er 5,0 seconden over om het blokje 180 cm omhoog te hijsen. Bereken hoeveel elektrische energie het motortje in die 5,0 seconden verbruikt.
c Bereken de arbeid die het motortje daarbij verricht.
d Bereken het rendement van het motortje.

8 Bij een test in een autofabriek worden de prestaties van een dieselmotor gemeten. Tijdens de test verricht de motor $5{,}7 \cdot 10^7$ Nm arbeid. De motor heeft onder deze omstandigheden een rendement van 45%. De verbrandingswarmte van dieselbrandstof is 36 MJ/L.

a Bereken hoeveel chemische energie de motor tijdens de test heeft verbruikt.
b Bereken hoeveel liter dieselbrandstof de motor tijdens de test heeft verbruikt.

★ 9 Bij een snelheid van 90 km/h rijdt een auto 1 op 12, dat wil zeggen dat hij 1,0 liter benzine verbruikt voor een afstand van 12 km. Bij deze snelheid is de voortstuwende kracht 950 N. De verbrandingswarmte van benzine is 33 MJ/L.
Bereken het rendement van de auto bij een snelheid van 90 km/h.

 Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS VERMOGEN IN PK

10 Een andere definitie van de pk is: het vermogen dat nodig is om een massa van 75 kg stapvoets op te hijsen. Stapvoets wil zeggen: met een snelheid van 1,0 m/s.

a Laat zien dat ook hieruit volgt dat 1,0 pk gelijk is aan $7{,}4 \cdot 10^2$ W.

b Leid af dat je het nuttige vermogen van bijvoorbeeld een automotor ook kunt berekenen met de formule $P_{nut} = F \cdot v$, met F de voorwaartse kracht die de motor uitoefent en v de (constante) snelheid waarmee de auto rijdt.

11 Volgens figuur 6 heeft de formule 1-Mercedes van Lewis Hamilton een maximaal vermogen van $1{,}0 \cdot 10^3$ pk.

a Bereken het maximale vermogen van de auto van Lewis Hamilton in kW.

b Mercedes claimt dat de motor van Hamiltons formule 1-auto een rendement heeft van 50%. Tijdens races wordt normale benzine gebruikt. Als je daarvan 1,0 liter verbrandt, levert dat $3{,}3 \cdot 10^7$ J op.
Bereken hoeveel liter benzine nodig is als de auto 15 minuten rijdt met maximaal vermogen.

c Bereken de voorwaartse kracht die de motor uitoefent als Lewis Hamilton met een snelheid van 350 km/h rijdt op het rechte stuk van een circuit.

4 Remmen en botsen

LEERDOELEN

4.4.1 Je kunt het verband toelichten tussen reactie-afstand, remweg en stopafstand.
4.4.2 Je kunt de stopafstand bepalen uit het (v,t)-diagram van een afremmend voertuig.
4.4.3 Je kunt de gemiddelde remkracht berekenen op de inzittende van een auto.
4.4.4 Je kunt twee manieren uitleggen om de vertraging tijdens een botsing zo klein mogelijk te houden.
4.4.5 Je kunt drie veiligheidsvoorzieningen in een auto noemen en hun werking uitleggen.
4.4.6 Je kunt berekeningen uitvoeren met druk, kracht en oppervlakte van het contactvlak.
PLUS 4.4.7 Je kunt de benodigde arbeid berekenen bij een gegeven verandering van snelheid.

De overheid heeft allerlei maatregelen genomen om het verkeer veiliger te maken. Zo mogen auto's in delen van de bebouwde kom niet sneller rijden dan 30 km/h. Dat is niet voor niets: de gevolgen van een botsing bij een snelheid van 50 km/h kun je vergelijken met een val vanaf een tien meter hoog gebouw.

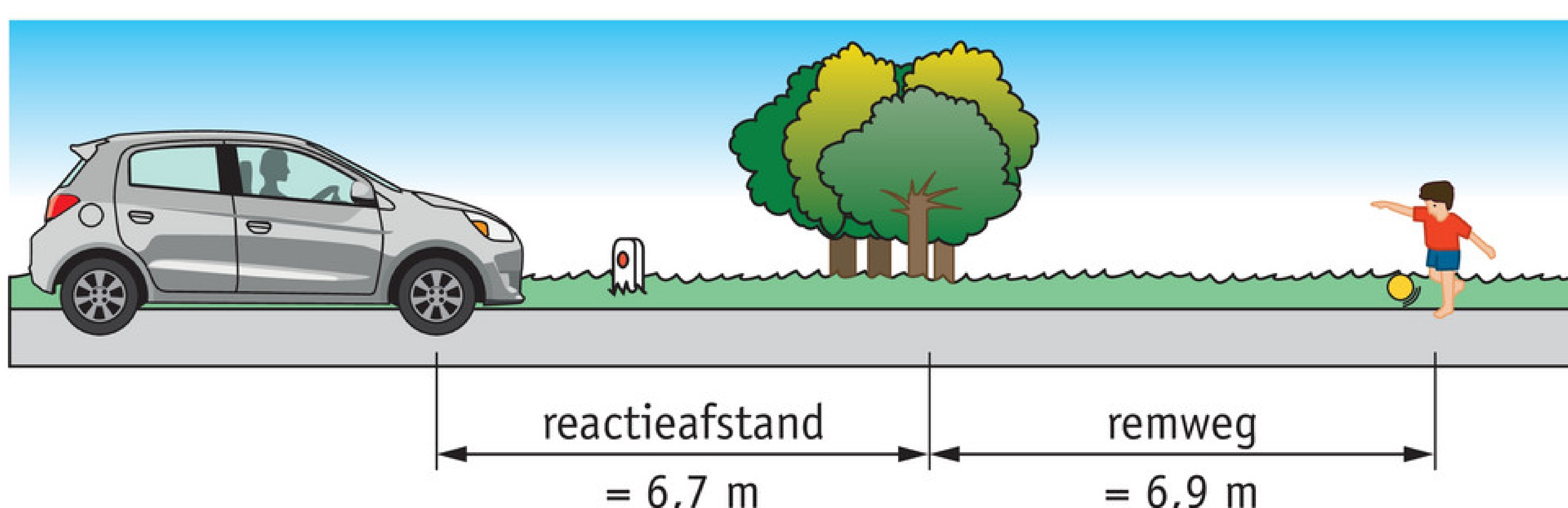
DE STOPAFSTAND BEPALEN

Als een automobilist wil stoppen, duurt het even voordat hij het rempedaal heeft ingetrapt en de remmen aanslaan. De tijd die daarvoor nodig is, noem je de **reactietijd**. Tijdens de reactietijd rijdt de auto nog verder met een constante snelheid. De afstand die de auto tijdens deze eenparige beweging aflegt, wordt de **reactie-afstand** genoemd.

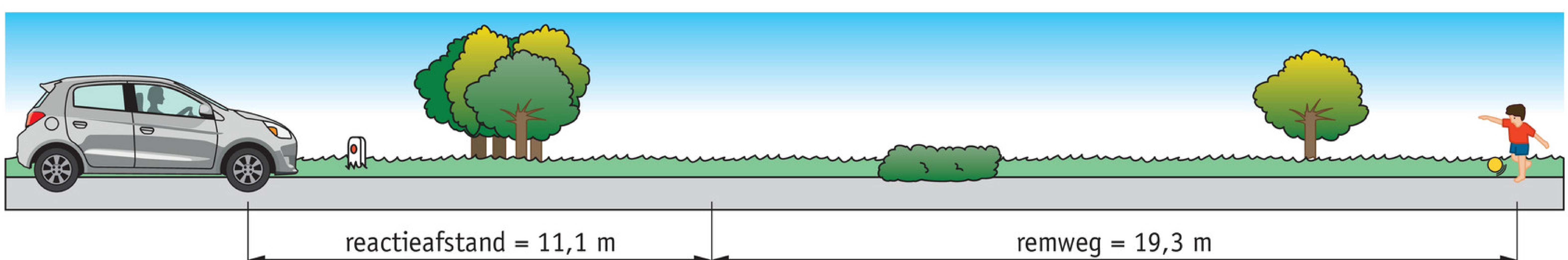
Nadat de remmen zijn ingetrapt, beweegt de auto bij benadering eenparig vertraagd verder, tot hij stilstaat. De afstand die de auto tijdens deze eenparig vertraagde beweging aflegt, noem je de **remweg**. De totale stopafstand bestaat dus uit twee delen: de reactie-afstand en de remweg:

stopafstand = reactie-afstand + remweg

Hoe sneller iemand rijdt, des te groter zijn de reactie-afstand en de remweg en dus ook de stopafstand (figuur 1).



Bij 30 km/h is de stopafstand 6,7 + 6,9 = 13,6 m



Bij 50 km/h is de stopafstand 11,1 + 19,3 = 30,4 m

figuur 1 De stopafstand bij 0,8 s reactietijd en een vertraging van 5 m/s^2.

In figuur 2 zie je het (v,t)-diagram van een auto die afremt voor een zebrapad. Zoals je uit het diagram kunt aflezen, is de reactietijd 0,8 s. Daarna vertraagt de auto 3,0 s lang, tot hij stilstaat. Je kunt de stopafstand bepalen door de oppervlakte onder het (v,t)-diagram af te lezen. Als je dat doet in figuur 2, nadat je de snelheid hebt omgerekend van km/h naar m/s, kom je uit op een stopafstand van 34,5 m. Ga zelf na dat dit zo is.



figuur 2 Stoppen voor een zebrapad: eerst reageren, dan remmen.

BOTSEN

Tijdens een botsing komen de inzittenden van een auto opeens tot stilstand. De (gemiddelde) vertraging a is dan erg groot. Dat betekent dat er tijdens de botsing een grote afremmende kracht F op de inzittenden werkt, ook als de snelheid voor je gevoel helemaal niet zo groot is. Zo'n grote kracht kan ernstige verwondingen veroorzaken.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Bij een botsproef met een auto komt een testpop (80 kg) in 60 ms tot stilstand (figuur 3). De snelheid van de auto is 32 km/h. De pop is vastgemaakt met een gordel die niet uitrekt.
Bereken de gemiddelde remkracht op de pop.

gegevens m = 80 kg
v_b = 32 km/h = 8,9 m/s
v_e = 0 m/s
Δt = 60 ms = 0,060 s

gevraagd F = ?

uitwerking $\Delta v = v_e - v_b = 0 - 8{,}9 = -8{,}9$ m/s

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-8{,}9}{0{,}060} = -148 \text{ m/s}^2$$

$F_{rem} = m \cdot a = 80 \times -148 = -12{\cdot}10^3$ N = −12 kN

De kracht in dit voorbeeld is groter dan de zwaartekracht op een massa van 1200 kg. Daarbij is ervan uitgegaan dat de gordel niet uitrekt. In werkelijkheid rekt een veiligheidsgordel wel uit bij een botsing. Daardoor duurt het afremmen langer en is de gemiddelde kracht op de inzittenden aanzienlijk kleiner.



figuur 3 Testpoppen in een auto na een botsproef.

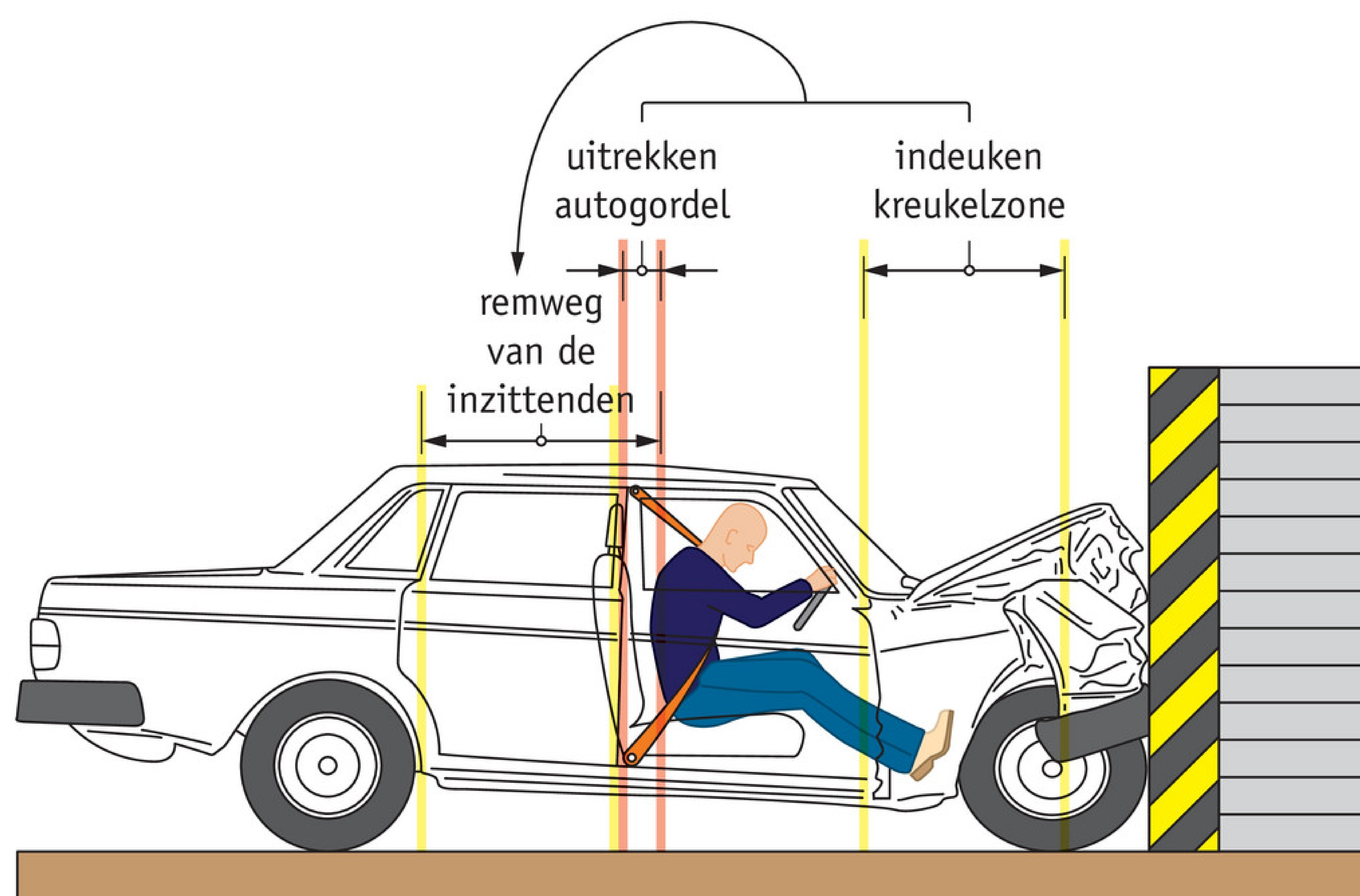
VEILIG AUTORIJDEN

Het is belangrijk om de vertraging bij een botsing zo klein mogelijk te houden. Zo beperk je de afremmende kracht op het lichaam en dus ook het risico op letsel. Per definitie is a gelijk aan $\Delta v : \Delta t$. Dat betekent dat je a op twee manieren kleiner kunt maken:

- door Δv zo klein mogelijk te maken;
- door Δt zo groot mogelijk te maken.

Het kleiner maken van Δv is de verantwoordelijkheid van de bestuurder. Die moet de risico's inschatten en zijn rijsnelheid daarop aanpassen. Als er een verhoogde kans op een botsing bestaat, hoor je snelheid terug te nemen. Zo kun je andere verkeersdeelnemers beter ontwijken. Als er toch een botsing plaatsvindt, is de vertraging en dus ook de afremmende kracht kleiner.

Het verlengen van Δt is een opgave voor auto-ontwerpers. Zij hebben allerlei manieren bedacht om de botsingstijd zo lang mogelijk te maken. De voor- en achterkant van een auto zijn bijvoorbeeld zo ontworpen dat ze bij een botsing gemakkelijk in elkaar worden gedrukt (figuur 4). Door deze **kreukelzones** duurt de botsingstijd langer en zijn de afremmende krachten minder groot.



figuur 4 Een botsproef. Je ziet hoe de remweg – en daardoor de remtijd – voor de inzittenden zo lang mogelijk wordt gemaakt.

DRUK

Veiligheidsgordels en airbags zorgen ervoor dat de inzittenden samen met de auto met een relatief lange botsingstijd worden afgeremd, zodat ze niet opeens tegen de voorruit slaan, zoals bij een ultrakorte botsingstijd. Bovendien verdelen gordels en airbags de afremmende krachten over een grotere oppervlakte. Dat zorgt voor een lagere druk, waardoor de kans op letsel afneemt.

Als een kracht *F* op een oppervlakte *A* werkt, kun je de druk *p* berekenen met:

$$p = \frac{F}{A}$$

Hierin is:

- *p* de druk in newton per vierkante meter (N/m^2) of pascal (Pa);
- *F* de totale kracht op de oppervlakte in newton (N);
- *A* de grootte van de oppervlakte in vierkante meter (m^2).

Veiligheidsgordels worden uitgevoerd met brede riemen. Dat zorgt voor een grote contactoppervlakte tussen de gordel en het lichaam. Zo wordt de **druk** op het lichaam zo klein mogelijk gehouden. Een smalle riem zou de remkracht concentreren op een klein gebied, met een grotere druk tot gevolg.

VOORBEELDOPDRACHT 2

De contactoppervlakte van het gebied waar de autogordel op de pop van voorbeeldopdracht 1 drukt, is 300 cm^2.
Bereken de (gemiddelde) druk op de testpop tijdens het afremmen.

gegevens $F_{gem} = 12 \text{ kN} = 12 \cdot 10^3 \text{ N}$
$A = 300 \text{ cm}^2 = 3{,}00 \text{ dm}^2 = 0{,}0300 \text{ m}^2$

gevraagd $p = ?$

uitwerking $p = \frac{F_{gem}}{A} = \frac{12 \cdot 10^3}{0{,}0300} = 4{,}0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

PLUS DE ARBEID BIJ AFREMMEN

Dingen die bewegen, hebben **bewegingsenergie.** De bewegingsenergie van een auto (en elk ander bewegend voorwerp) kun je berekenen met de formule:

$$E_k = ½\, m \cdot v^2$$

Hierin is:

- E_k de bewegingsenergie van het voorwerp in joule (J);
- *m* de massa van het voorwerp in kilogram (kg);
- *v* de snelheid van het voorwerp in meter per seconde (m/s).

Bewegingsenergie wordt vaak aangeduid als **kinetische energie**, van het Griekse werkwoord *kinein* = in beweging brengen. De afkorting E_k is hiervan afgeleid.

Tijdens het remmen zorgt de remkracht ervoor dat de bewegingsenergie steeds verder afneemt. De arbeid van de remkracht is daarbij gelijk aan de afname van de bewegingsenergie: $W = \Delta E_k$

Je kunt dit ook schrijven als:

$$W = F \cdot s = E_{k,eind} - E_{k,begin} = ½\, m \cdot v_e^2 - ½\, m \cdot v_b^2$$

Hierin staat v_b voor de snelheid aan het begin (als het afremmen begint) en v_e voor de snelheid aan het eind (als het afremmen ophoudt). Als een voorwerp afremt tot stilstand, wordt alle bewegingsenergie omgezet in warmte. In dat geval is v_e gelijk aan 0 m/s en geldt:

$F \cdot s = 0 - ½\, m \cdot v_b^2$, of kortweg: $F \cdot s = -½\, m \cdot v_b^2$

Met deze formule kun je de remkracht berekenen als de beginsnelheid en de remweg (de afstand die tijdens het remmen wordt afgelegd) zijn gegeven. Aan de formule kun je zien dat de berekende remkracht negatief is. Deze kracht werkt dan ook altijd tegen de bewegingsrichting in.


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

- **a** Hoe noem je een beweging waarvan de snelheid gelijkmatig afneemt?
- **b** Wat wordt bedoeld met de uitspraak: "De vertraging van de auto is 5 m/s^2"?
- **c** Welke twee afstanden moet je optellen om de totale stopafstand te vinden?
- **d** Van welke factoren hangt de vertraging af die het lichaam bij een botsing ondergaat?
- **e** Wat is de eenheid van druk?

2 Met een kreukelzone en een veiligheidsgordel kun je de veiligheid van de inzittenden van een auto bevorderen.

- **a** Leg uit wat er tijdens een botsing gebeurt met de kreukelzone van een auto.
- **b** Waardoor maakt een kreukelzone het risico voor de inzittenden kleiner?
- **c** Leg uit waardoor het komt dat een gordel de botsingskracht op het lichaam vermindert.

TOEPASSING

3 Hierna worden drie eenparig vertraagde bewegingen beschreven.
Bereken voor elke beweging hoe groot de vertraging is.

- **a** Nora fietst met een snelheid van 5 m/s. Ze houdt op met trappen. Na 20 s is haar snelheid afgenomen tot 2,3 m/s.
- **b** Een auto die 72 km/h rijdt, remt voor een stoplicht. Na 7,0 s staat de auto stil.
- **c** Een auto botst met een snelheid van 50 km/h tegen een boom. De bestuurder komt na 0,30 s tot stilstand.

4 Lees het krantenartikel in figuur 5.

a Leg uit of de inzittende die zwaargewond is geraakt naar voren of naar achteren viel.

b Aan welk veiligheidsvoorschrift voldeed de inzittende niet?

c De buschauffeur (massa 95 kg) remde met een vertraging van 6,0 m/s^2. Hij had een veiligheidsgordel om.
Bereken hoe groot de kracht was die de gordel op de chauffeur uitoefende.

d De contactoppervlakte tussen de gordel en de chauffeur bedroeg 250 cm^2.
Bereken de druk van de veiligheidsgordel op de chauffeur.

figuur 5 De gevolgen van plotseling krachtig remmen.

Bus moet remmen, vier passagiers gewond

Almere – Vier inzittenden van een bus in Almere Haven zijn dinsdag gewond geraakt toen de chauffeur plotseling moest remmen voor een overstekende bromfietser. Volgens de politie raakte een van de passagiers die ten val kwam ernstig gewond. Ook een tweede passagier moest naar het ziekenhuis worden gebracht.
De bus reed kort voor half twaalf 's ochtends op de Bivak in Almere Haven. Hoewel de chauffeur hard remde, kon hij een aanrijding niet voorkomen. De bromfietser bleef volgens de politie ongedeerd.
De politie onderzoekt nog hoe het ongeval precies kon gebeuren en is op zoek naar getuigen.

Bron: www.omroepflevoland.nl

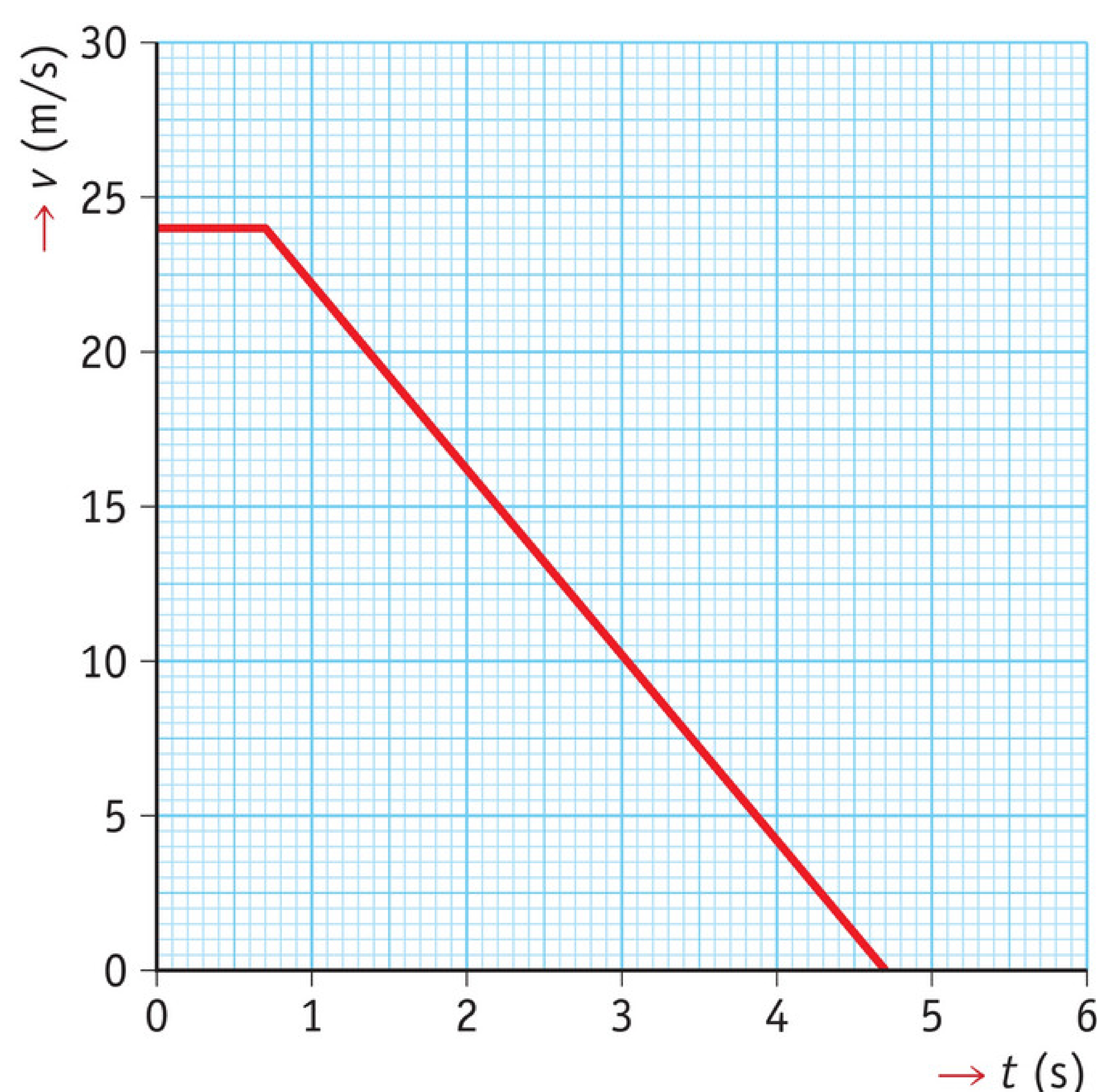
5 Een automobilist ziet een eindje voor zich een haas de weg op rennen. Hij probeert voor het dier te stoppen. In figuur 6 zie je het (v,t)-diagram van zijn auto, vanaf het moment (t = 0 s) dat hij de haas waarneemt.

a Lees de reactietijd af uit figuur 6. De reactietijd is .... s.

b Bepaal de vertraging waarmee de auto afremt.

c De massa van de auto met bestuurder is 1250 kg.
Bereken de remkracht die op de auto wordt uitgeoefend.

d Bepaal de stopafstand.



figuur 6 Een automobilist stopt voor een haas.

6 De airbags in een auto worden razendsnel opgeblazen als de auto een vertraging van meer dan 50 m/s^2 ondervindt. De airbag vangt je lichaam op, zodat de veiligheidsgordel je lichaam niet alleen hoeft af te remmen (figuur 7). De airbag geeft daarbij mee, net als een ballon waar je met een vinger in duwt.

a De airbag verkleint de kans dat de inzittenden bij een ongeluk gewond raken. Geef hiervoor een natuurkundige verklaring.

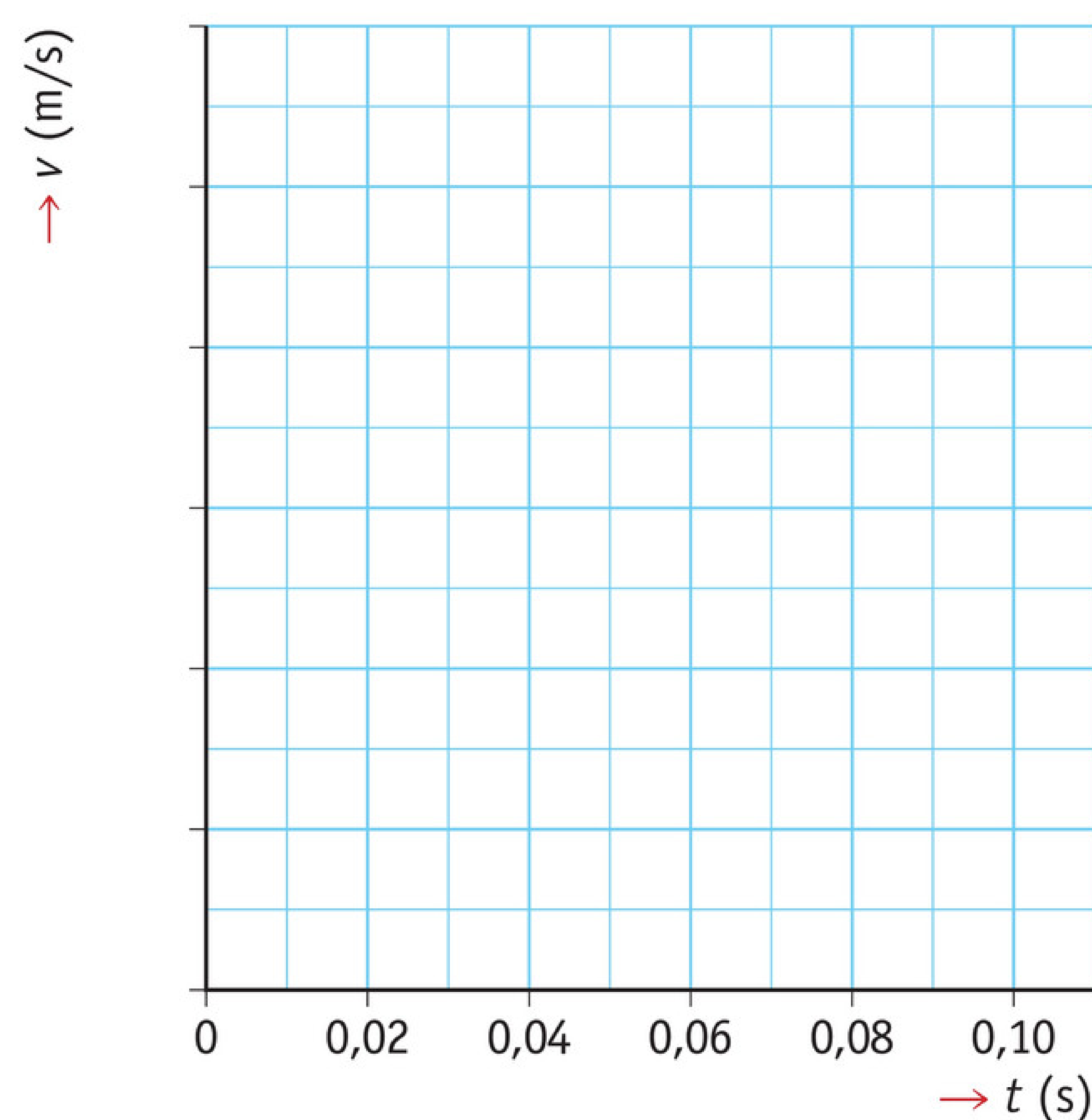
b Geef nog een natuurkundige verklaring en gebruik daarbij de term ‘druk’.

c Bij een test botst een auto met een snelheid van 20 km/h tegen een betonnen wand. Hierbij komt de auto binnen 0,10 s tot stilstand. De kreukelzone van de auto is zo gemaakt dat de auto bij de botsing eenparig vertraagt. Ga met een berekening na of de airbag bij deze botsing zal worden opgeblazen.

d Toon aan dat de kreukelzone van de auto tijdens de botsproef 28 cm is ingedrukt. Tip: schets eerst in figuur 8 het (*v*,*t*)-diagram van deze beweging.



figuur 7 Tijdens een botsproef wordt een airbag getest.



figuur 8 Het (*v*,*t*)-diagram van een botsproef.

★ 7

Uit remtests met twaalf e-bikes en twaalf verschillende bestuurders blijkt dat de 'Keola Delft' de grootste gemiddelde vertraging tijdens het remmen heeft.

a Bedenk zelf een oorzaak waardoor de vertraging niet bij alle bestuurders gelijk is.

b Bij een snelheid van 20 km/h is de gemiddelde vertraging tijdens de test van alle bestuurders 13,9 m/s^2.
Toon met een berekening aan dat de gemiddelde remtijd tijdens deze test 0,40 s is.

c Bereken de gemiddelde remweg tijdens deze test.

d Met een e-bike kun je snelheden tot 25 km/h bereiken. Steeds meer gebruikers van een e-bike dragen daarom een helm. Zo'n helm heeft een harde buitenkant en een binnenkant van zacht, veerkrachtig materiaal.
Geef twee natuurkundige redenen waarom je met zo'n helm minder kans loopt op ernstig letsel.

e Een e-biker zonder helm valt tijdens het fietsen. Hij raakt met zijn hoofd de grond. De plek op zijn hoofd die de grond raakt heeft een oppervlakte van 4,4 cm^2.
Hoeveel keer wordt de druk op die plek op zijn hoofd verkleind als hij een helm (maat 58, dit is de omtrek van het hoofd in cm) zou dragen? Doe bij deze opdracht zelf enkele aannamen en gebruik in je oplossing de formule voor de oppervlakte van een bol $A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$.

★ 8

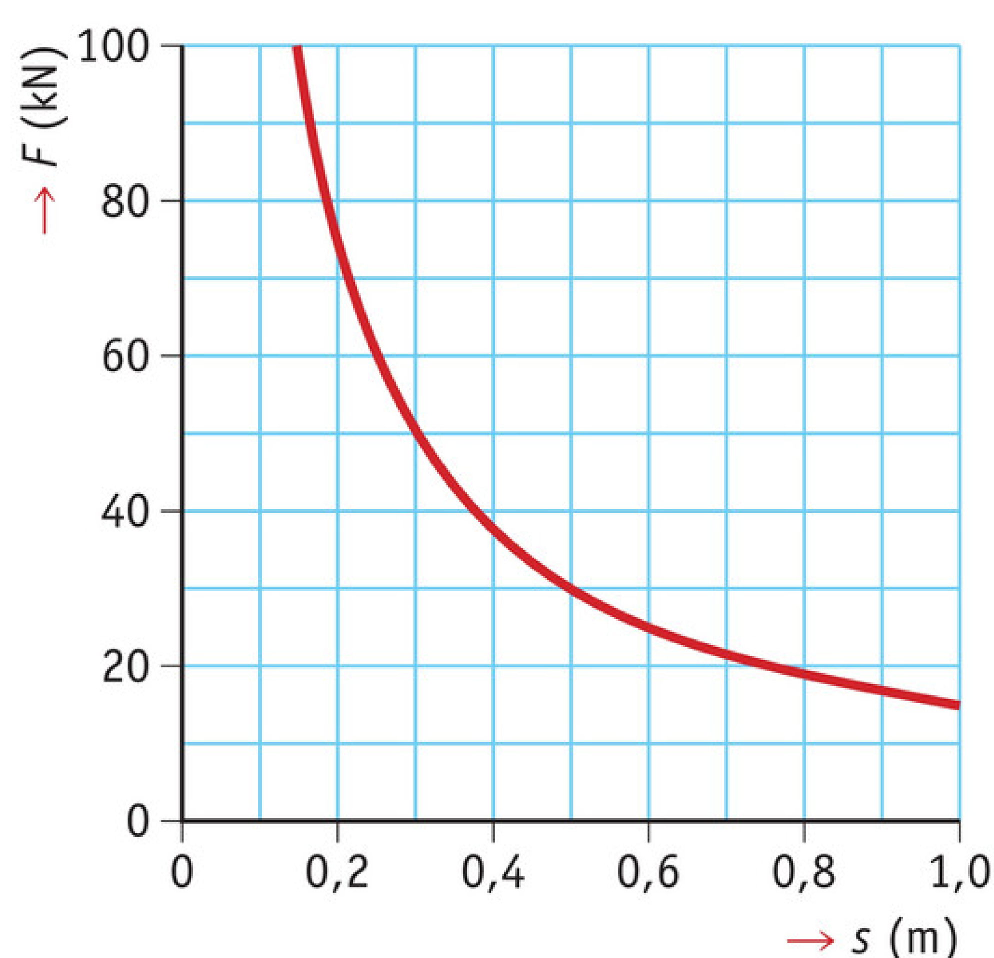
Tijdens een botsproef rijdt een testauto met een snelheid van 72 km/h tegen een betonnen muur. In de auto zit een testpop van 75 kg die net als een gewone inzittende een veiligheidsgordel draagt. In figuur 9 zie je hoe de (gemiddelde) kracht die de pop afremt afhangt van de afstand die de pop tijdens de botsing aflegt.

a Tijdens de botsing legt de pop een afstand af van 0,60 m.
Bepaal de (gemiddelde) remkracht op de pop.

b De pop zit vast met een 6,0 cm brede gordel die over een lengte van 1,2 m met de pop contact maakt.
Bereken de gemiddelde druk van de pop op de gordel tijdens de botsing.

c Bereken de (gemiddelde) remvertraging.

d Dat de pop tijdens de botsing een afstand van 0,60 m aflegt, komt deels door de kreukelzone (50 cm) en deels door het uitrekken van de veiligheidsgordel (10 cm).
Bepaal hoe groot de kracht op de pop zou zijn als de veiligheidsgordel niet zou uitrekken.



figuur 9 Het verband tussen de remweg bij een botsing en de kracht op de testpop.


Test je kennis met de *Test jezelf.*

PLUS DE ARBEID BIJ AFREMMEN

9

a Leg uit wat er met de remkracht gebeurt als je botst met een 2× keer zo grote snelheid bij gelijke botsafstand.

b Bij een botsing is de remkracht op de bestuurder 24 kN. De massa van de inzittende is 80 kg, de botsafstand is 30 cm.
Bereken de snelheid van de bestuurder voor de botsing.

10

Bij een botsing komen de inzittenden van een auto over een heel korte afstand tot stilstand.

a De energievorm waarin de bewegingsenergie van de inzittenden wordt omgezet is ....

b Bij een botsing komt een inzittende (massa = 80 kg) over een afstand van 0,40 m tot stilstand. De snelheid voor de botsing was 72 km/h.
Bereken de remkracht op de inzittende.

c Bij botsingen wordt de vertraging op de inzittende vaak uitgedrukt in de valversnelling *g*.
Bereken de vertraging op de inzittende, uitgedrukt in de valversnelling *g*.

11

Bij een botsproef wordt een (*v*,*t*)-diagram van de botsende auto gemaakt (figuur 10). De massa van de auto is 900 kg.
Bepaal met behulp van de figuur de (gemiddelde) botskracht op de auto. Gebruik hiervoor de formule $F \cdot s = -\frac{1}{2}\, m \cdot v_b^2$. Hint: lees in de plusstof van paragraaf 4.1 nog eens na hoe je de botsafstand kunt bepalen uit het (*v*,*t*)-diagram.



figuur 10 Het (*v*,*t*)-diagram van de botsproef.

Practica

PROEF 1 DE VERSNELLING BEPALEN

30 minuten

Inleiding

Een knikker rolt over een stalen L-profiel. Doordat de knikker gemakkelijk rolt over het L-profiel is er bijna geen weerstandskracht. Als je het L-profiel een beetje schuin zet, beweegt de knikker met een constante versnelling naar beneden.

Doel

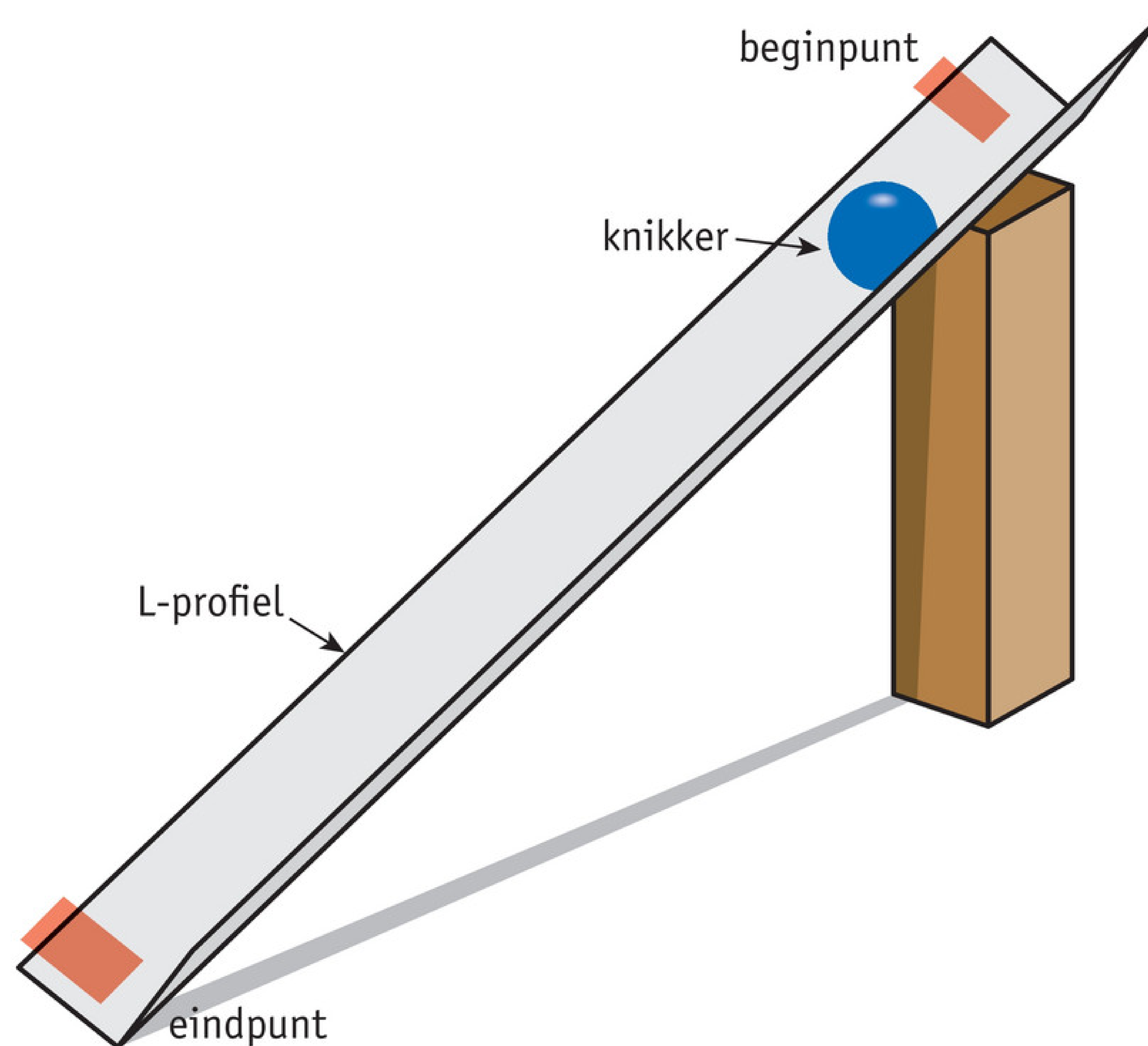
Bij deze proef bepaal je de versnelling van een knikker in een L-profiel.

Nodig

- ☐ knikker
- ☐ L-profiel (bijvoorbeeld stucprofiel)
- ☐ afplaktape
- ☐ stopwatch
- ☐ meetlat / meetlint

Uitvoeren en uitwerken

- Bouw de opstelling van figuur 1. Markeer met afplaktape het startpunt en het eindpunt van de beweging.
- Meet de afstand tussen het startpunt en het eindpunt.



figuur 1 De opstelling van proef 1.

1 Noteer op de juiste plaats in tabel 1 de gemeten afstand.

tabel 1 De resultaten van proef 1.

meting	afstand (m)	tijd (s)
1		
2		
3		
4		
5		
gemiddelde		

- Leg de knikker op het startpunt.
- Laat de knikker los en start tegelijkertijd de tijdmeting.
- Stop de tijdmeting als de knikker voorbij het eindpunt rolt. Noteer op de juiste plaats in tabel 1 de gemeten tijd.
- Voer deze meting vijf keer achter elkaar uit.

2 Bereken de gemiddelde tijd. Noteer deze in tabel 1.

3 Bereken de gemiddelde snelheid v_{gem} van de knikker.

....

....

....

4 De eindsnelheid van de knikker is 2× zo groot als de gemiddelde snelheid.
Bereken de eindsnelheid v_e van de knikker.

....

....

....

5 Bereken nu de versnelling van de knikker.

....

....

....

Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

PROEF 2 VERSNELLING EN KRACHT

30 minuten

Inleiding

Het wagentje van een luchtkussenbaan zweeft op een kussen van lucht. Daardoor zijn de weerstandskrachten die de beweging tegenwerken verwaarloosbaar klein: de resultante is even groot als de voortstuwende kracht.

Doel

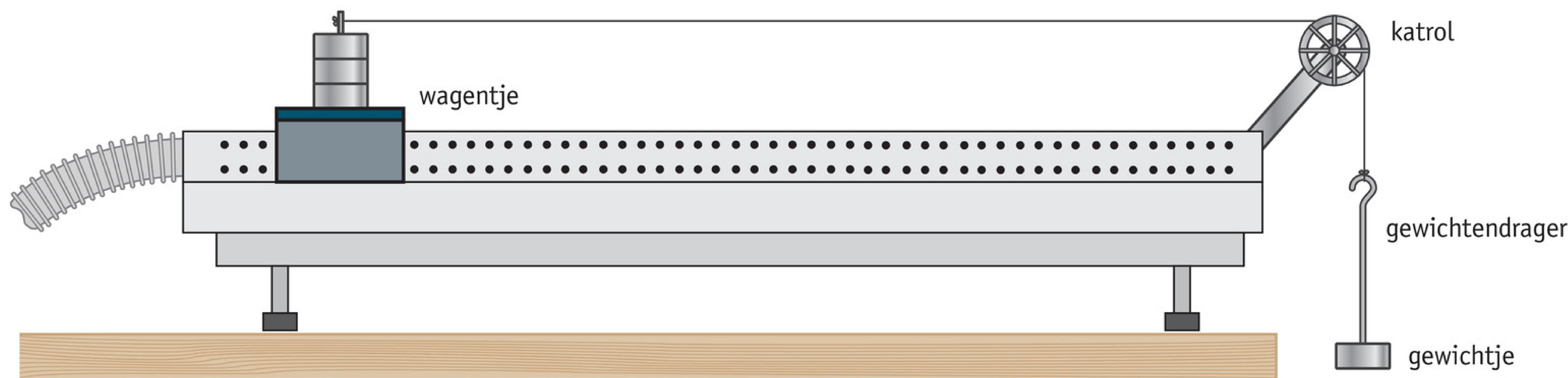
Je onderzoekt het verband tussen de resultante op het wagentje en de versnelling.

Nodig

- ☐ luchtkussenbaan
- ☐ wagentje
- ☐ gewichtendrager
- ☐ gewichtjes
- ☐ katrol
- ☐ touw
- ☐ stopwatch / lichtpoort met elektronische timer

Uitvoeren en uitwerken

- Bouw de opstelling van figuur 2.



figuur 2 De opstelling van proef 2.

Meting 1

- Je docent zal je vertellen hoeveel gewichtjes je op de gewichtendrager en op het wagentje moet leggen.

1 Noteer in tabel 2 de massa van de gewichtendrager bij meting 1.

tabel 2 De resultaten van proef 2.

meting	massa drager (g)	kracht (N)	afstand (m)	gemiddelde tijd (s)	gemiddelde snelheid (m/s)	eindsnelheid (m/s)	versnelling (m/s²)
1							
2							
3							

- Zet het wagentje zo ver mogelijk van het eindpunt. Dit is de startpositie. Meet de afstand tussen het startpunt en het eindpunt.
- Meet de tijd die het wagentje nodig heeft om het einde van de luchtkussenbaan te bereiken.
- Herhaal deze meting twee keer.

2 Bepaal de gemiddelde tijd. Noteer deze in de tabel bij meting 1.

Meting 2
- Breng één gewichtje van het wagentje naar de gewichtendrager. De (totale) massa verandert niet, maar de voortstuwende kracht wel.

3 Noteer de massa van de gewichtendrager bij meting 2 in de tabel.

- Meet de tijd die het wagentje nodig heeft om van de startpositie naar het einde van de luchtkussenbaan te bewegen.
- Herhaal deze meting twee keer.

4 Bepaal de gemiddelde tijd. Noteer deze bij meting 2 in de tabel.

Meting 3
- Breng nog een gewichtje van het wagentje naar de gewichtendrager.

5 Noteer de massa van de gewichtendrager bij meting 3 in de tabel.

- Meet weer de tijd die het wagentje nodig heeft om van de startpositie naar het einde van de luchtkussenbaan te bewegen.
- Herhaal deze meting twee keer.

6 Bepaal de gemiddelde tijd. Noteer deze bij meting 3 in de tabel.

Uitwerken

7 Bereken de voortstuwende kracht bij elke meting met $F_z = m \cdot g$. Noteer de uitkomsten in de derde kolom van de tabel.

8 Bereken de gemiddelde snelheid bij elke meting. Noteer de uitkomsten in de zesde kolom van de tabel.

9 De eindsnelheid is 2× zo groot als de gemiddelde snelheid.
Bereken de eindsnelheid voor elke meting. Noteer de uitkomsten in de zevende kolom van de tabel.

10 Bereken de versnelling bij elke meting. Noteer de uitkomsten in de achtste kolom van de tabel.

11 Bekijk je resultaten. Wat kun je zeggen over het verband tussen de resultante en de versnelling? Leg uit hoe je aan je antwoord bent gekomen.

....

....

....

....

Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

PROEF 3 EEN ONDERZOEK UITVOEREN – DE ROLWEERSTANDSKRACHT BIJ EEN FIETS

45 minuten

Inleiding

In een tijdschrift voor amateurwielrenners beweert een sportwetenschapper: “Veel amateurrenners realiseren zich niet hoe belangrijk een juiste bandenspanning is. Met hard opgepompte banden ga je gewoon sneller: een paar bar extra kan de rolweerstand met wel 20% naar beneden brengen. Bij een tijdrit in een wielerwedstrijd levert dat zomaar enige tientallen seconden tijdswinst op.”
Je vraagt je af of deze wetenschapper gelijk heeft en gaat op onderzoek uit.

Doel

Je zoekt een antwoord op de onderzoeksvraag:
Hoe hangt de rolweerstandskracht af van de druk in fietsbanden?

Nodig

Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken

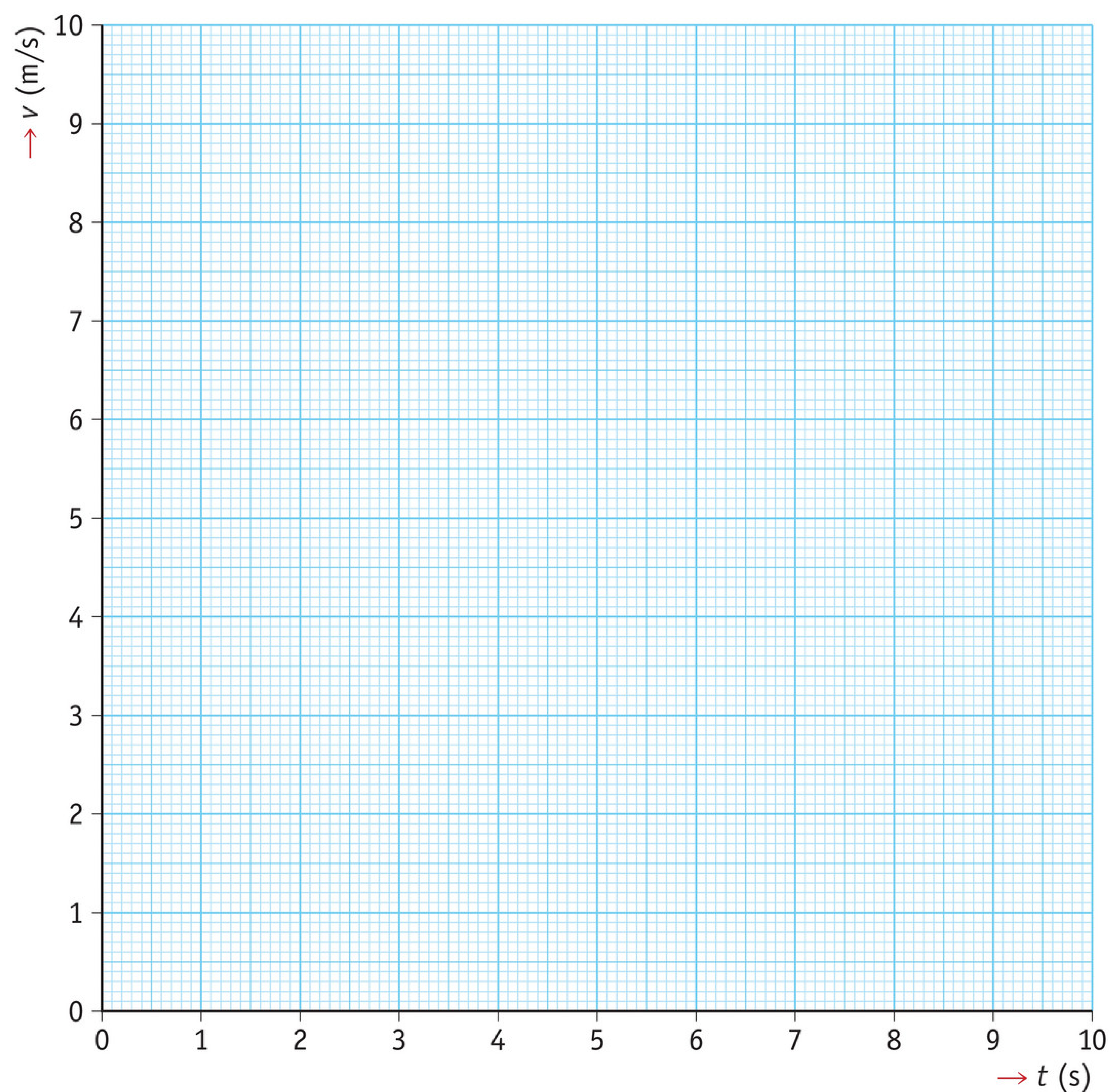
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat ga je precies meten, hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn? Tip: bedenk eerst hoe je de invloed van de luchtweerstandskracht op je metingen zo klein mogelijk kunt maken.
- Bespreek met elkaar welke risico’s zich zouden kunnen voordoen. Hoe kun je ervoor zorgen dat je deze proef veilig kunt uitvoeren?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les met de klas besproken. Verbeter je eigen werkplan nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten.

3 Maak een grafiek waarin je de rolweerstandskracht uitzet tegen de druk in de fietsbanden.



4 Noteer je conclusie.

....

....

....

....

Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

De volgende proeven staan in de online leeromgeving. Je docent beslist welke van deze proeven worden uitgevoerd.

PROEF 4 LUCHTWEERSTANDSKRACHT EN SNELHEID

45 minuten

Inleiding

Je onderzoekt hoe de luchtweerstandskracht afhangt van de snelheid van een voorwerp.

PROEF 5 VERTRAGING BIJ BOTSPROEVEN

20 minuten

Inleiding

Je meet de gemiddelde vertraging bij botsproeven met behulp van videometen.

PROEF 6 EEN ONDERZOEK UITVOEREN: EEN VEERAUTOOTJE

45 minuten

Inleiding

Je onderzoekt of een veerautootje bij het optrekken en afremmen respectievelijk eenparig versneld en eenparig vertraagd beweegt.

Werken als verkeersmanager

Wachten voor een rood verkeerslicht. Rijden ... stilstaan ... rijden ... en weer stilstaan voor het volgende rode licht. Voor veel automobilisten is het rijden in een drukke stad een dagelijks terugkerende ergernis. “Als het een beetje tegenzit, sta je meer stil dan je rijdt!,” mopperen ze. Voor verkeersmanagers is die irritatie juist een uitdaging: hoe kunnen we het verkeer beter laten doorstromen zonder dat de veiligheid achteruitgaat?

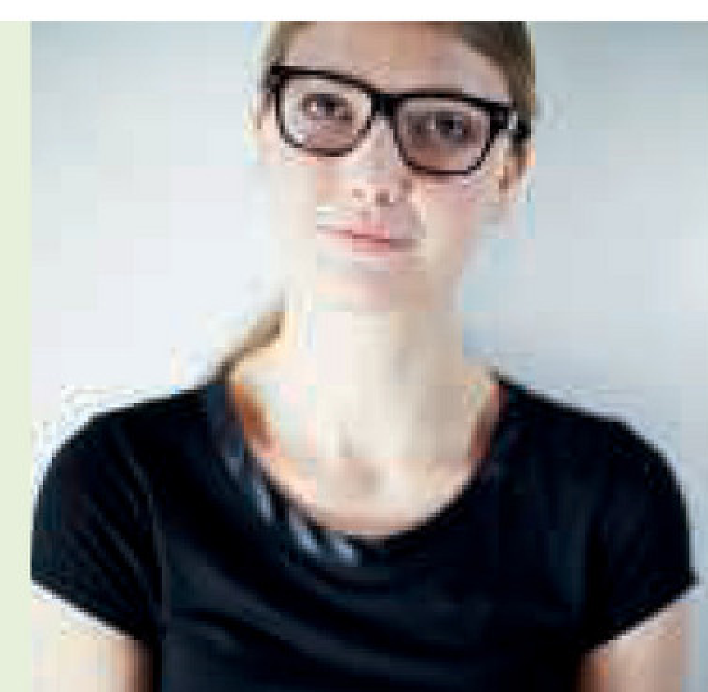
In een dichtbevolkt land zoals Nederland kan het verkeer gemakkelijk vastlopen. Vooral in de spits is de verkeersdruk enorm groot. Knelpunten in het wegennet leiden onvermijdelijk tot veel vertraging. Het is het werk van verkeersmanagers om daar slimme oplossingen voor te bedenken. Hoe efficiënter het verkeer wordt afgewikkeld, des te minder mensen hoeven te wachten.

Plannen om een weg of een kruispunt anders in te richten, hebben veel impact. Duizenden verkeersdeelnemers – soms nog veel meer – krijgen ermee te maken en bijna allemaal hebben ze er een mening over. Maar over de mensen die de plannen ontwikkelen, hoor je bijna nooit iets. Reden genoeg om eens met zo’n plannenmaker te gaan praten. Verkeersmanager Aymee Prinsen (26 jaar, figuur 1) vertelt ons over haar werk.

Hoe word je verkeersmanager?

“Ik heb verkeer altijd interessant gevonden. Al die mensen die zich elke dag opnieuw verplaatsen: hoe kun je dat nu zo goed mogelijk regelen? Puzzelen aan een probleem tot je de optimale oplossing te pakken hebt, dat vind ik gewoon leuk. Toen ik na het vwo een vervolgopleiding moest kiezen, heb ik er niet lang over na hoeven te denken. Ik wist gewoon dat het iets met verkeer zou worden.

naam	Aymee Prinsen
leeftijd	26 jaar
opleiding	vwo-profiel N+T
	hbo *Built Environment*: profiel verkeersmanager
functie	adviseur verkeersmanagement
plannen	over tien jaar een eigen adviesbureau beginnen



figuur 1 Verkeersmanager Aymee Prinsen.

Na het vwo heb ik de opleiding *Built Environment* aan het hbo gedaan. Je kon daar kiezen uit verschillende vakgebieden en uitstroomprofielen. Met mijn belangstelling voor verkeer kom je automatisch terecht bij het vakgebied mobiliteit. Ik heb het uitstroomprofiel verkeersmanager gekozen, omdat ik vooral in de techniek geïnteresseerd ben en ervan houd om concrete problemen op te lossen.

"Op school mag je weleens een fout maken in een berekening, maar in de verkeerstechniek is dat niet zo."

De opleiding was heel praktijkgericht. Je leert hoe je een veilige weg ontwerpt, kruispunten inricht en het verkeer in een stad in goede banen leidt. Je krijgt ook wel theorievakken, maar de meeste tijd ben je bezig met projecten. Dan werk je met een groepje studenten aan een opdracht voor een externe opdrachtgever, zoals een gemeente die de verkeersveiligheid op een kruispunt wil verbeteren."

Wat houdt je werk zoal in?

"Na het hbo ben ik gaan werken als adviseur bij een middelgroot adviesbureau. Er werken ongeveer twintig mensen, waarvan vijf in de verkeerstechniek. Daar ben ik bezig met projecten zoals het optimaal inrichten van kruispunten met verkeerslichten.

Zo'n project begint ermee dat ik met een mogelijke opdrachtgever ga praten. Als ons bureau de opdracht krijgt, maak ik eerst een ontwerp. Ik reken bijvoorbeeld uit hoelang en in welke volgorde de verkeerslichten op groen moeten staan, en hoeveel tijd het verkeer daarna krijgt om het conflictvlak – zo noem je het gebied waar de verkeersstromen elkaar kruisen – leeg te maken (figuur 2).

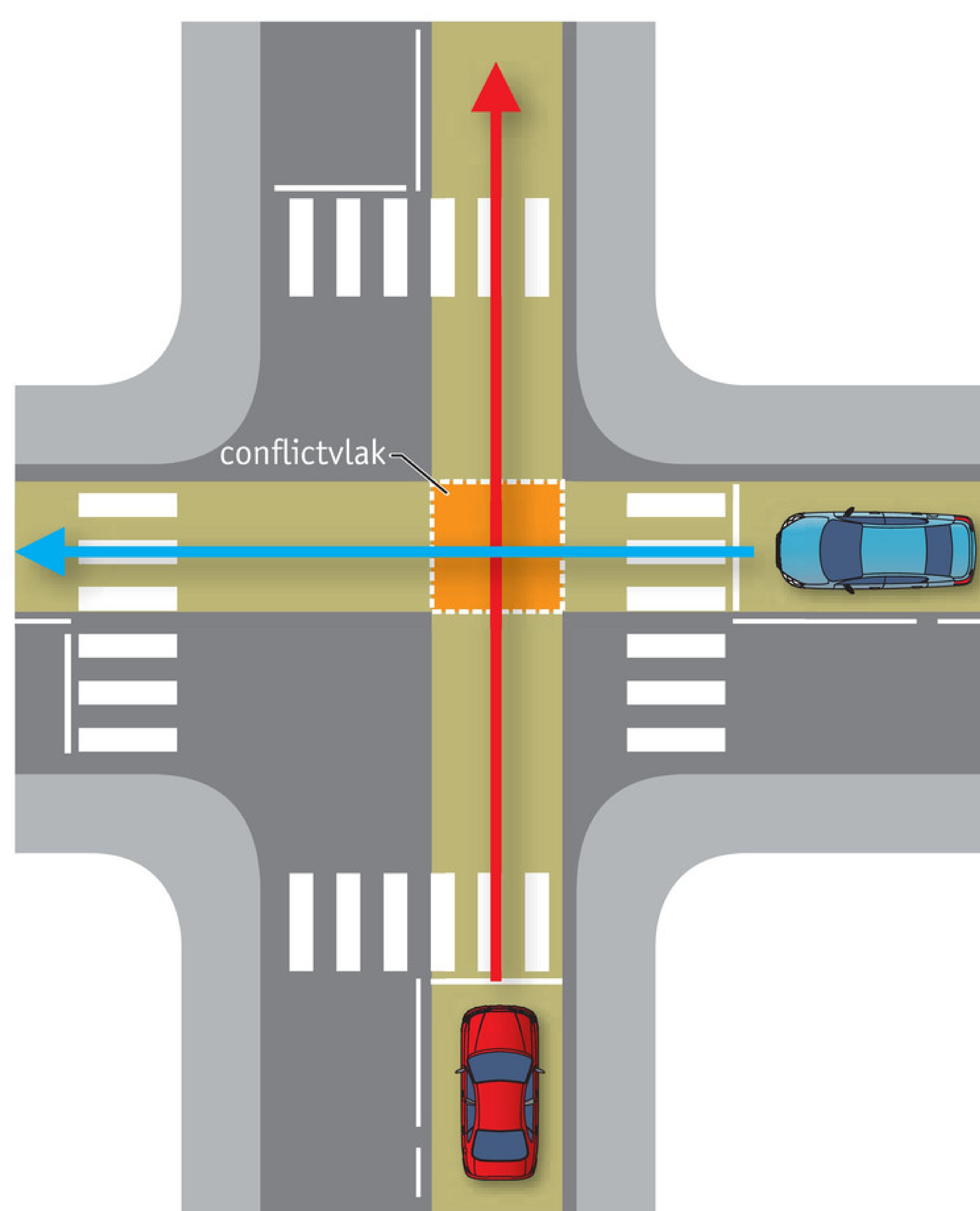
Als het ontwerp af is, zet ik het om in een computerprogramma dat de verkeerslichten aan- en uitzet. Ik maak zo'n programma in Visual C – een computertaal – en test het met behulp van verkeerssimulatieprogramma's.

Tijdens de installatie van de verkeerslichten houd ik toezicht namens de gemeente, om te zien of de plannen juist worden uitgevoerd. Als alles er staat en de programma's zijn geïnstalleerd, wordt het systeem nog één keer getest. En dan komt ten slotte de opening. Dat is altijd spannend, want je wilt natuurlijk niet dat er dan nog iets fout gaat."

Welke rol speelt natuurkunde in jouw vakgebied?

"Als een verkeerslicht op oranje springt, duurt het even voordat het conflictvlak leeg is en het verkeer uit een andere richting kan gaan rijden. Je noemt dat de ontruimingstijd. Als verkeerskundige moet je nogal eens de ontruimingstijd berekenen, omdat die voor ieder kruispunt en elk soort verkeersdeelnemer weer anders is.

Je berekent de ontruimingstijd met de bekende formules uit de natuurkunde over afstand en snelheid. Vaak gebruik ik een computer om dingen uit te rekenen, maar ik maak ook wel berekeningen op een stuk papier, met een rekenmachine. Dat is ook een manier om mezelf gerust te stellen dat alles klopt.



figuur 2 Twee auto's naderen een conflictvak.

Op school mag je weleens een fout maken in een berekening, maar in de verkeerstechniek is dat niet zo. Als je een verkeerslicht te snel op groen laat springen, kan dat tot ongelukken leiden. Gelukkig vind je een fout meestal wel bij het testen, maar er blijft altijd een risico. Bovendien kost het herstellen van een fout in de software veel tijd en geld.”

Zit er genoeg uitdaging in je werk?

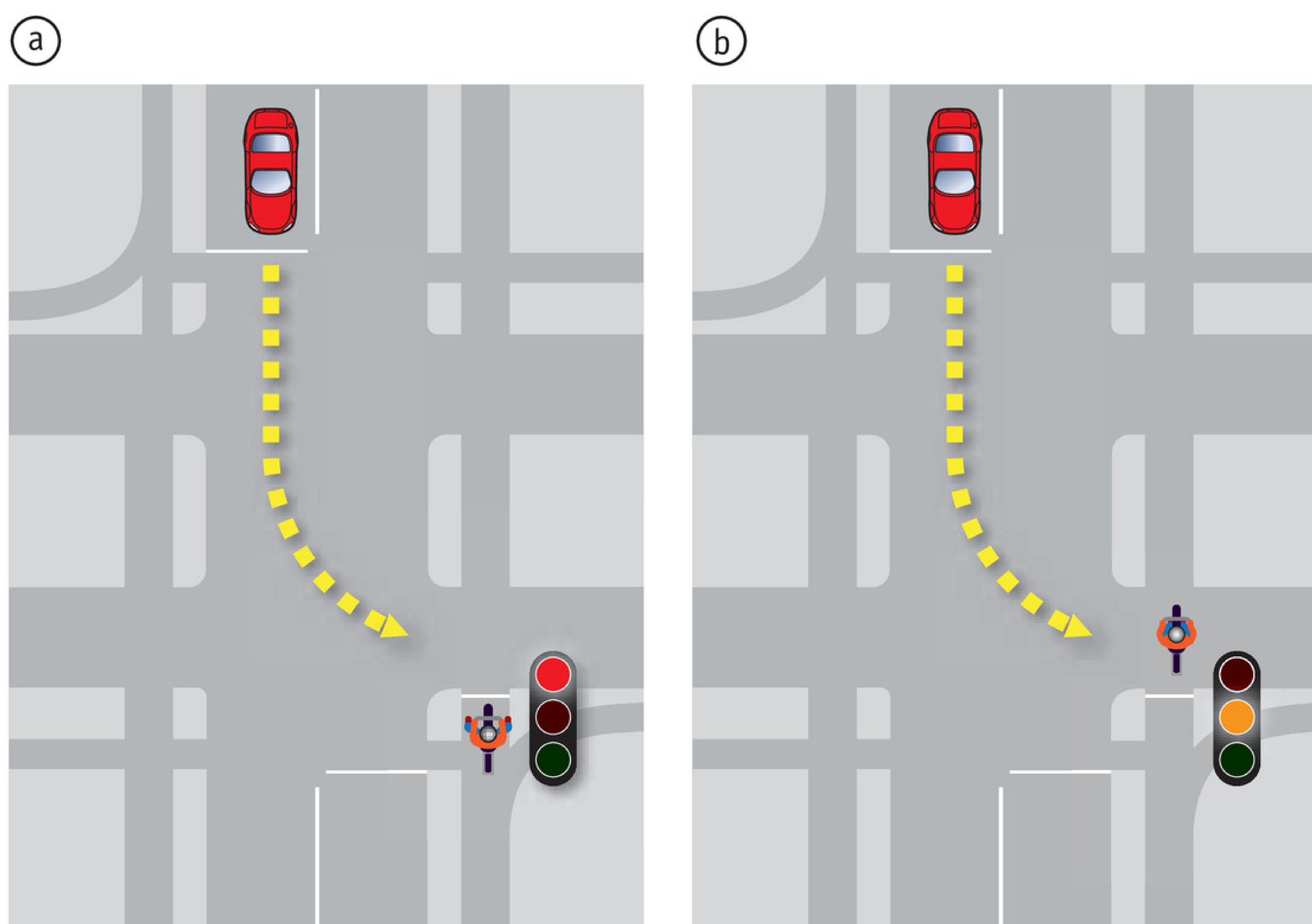
“O ja, absoluut. Net zoals elk bedrijf moeten ook wij voortdurend innoveren. De ideeën over doorstroming en veiligheid veranderen steeds en wij moeten daarin mee. Een leuk voorbeeld is de norm voor groen licht bij verkeerslichten. Ik heb in mijn opleiding bijvoorbeeld geleerd dat je nooit twee richtingen tegelijk groen licht mag geven: als de ene richting groen heeft, moet de kruisende richting rood krijgen.

Eigenlijk wist iedereen toen al dat die norm te streng is. Soms duurt het oprijden (van de stopstreep naar het conflictvlak) erg lang, terwijl het afrijden juist snel gaat. De ontruimingstijd is dan negatief: het conflictvlak is eerder leeg dan nodig is. Er is nu een gloednieuwe aanpak, intergroen, die deze extra tijd benut. Daarbij springen de lichten voor richting A al op groen, terwijl de lichten voor richting B nog even op groen blijven staan (figuur 3).

Intergroen scheelt per cyclus maar een paar seconden, maar over de hele dag gerekend tikt het lekker aan. Waarschijnlijk is intergroen ook goed voor de verkeersveiligheid, omdat er minder door rood wordt gereden. Daar wordt nu nog onderzoek naar gedaan. Hoe dan ook, als intergroen straks in heel Nederland toegepast mag worden, moeten wij daar als bureau klaar voor zijn. Want elke seconde die wij veilig van de wachttijd af kunnen halen, is winst.”

Het effect van intergroen

In 2014 deed adviesbureau Grontmij samen met Rijkswaterstaat een onderzoek naar de effectiviteit van intergroen. De studie liet zien dat het aantal voertuigverliesuren op kruispunten door intergroen met gemiddeld 3,6% wordt teruggebracht. Dat zou voor heel Nederland een besparing van 4,9 miljoen voertuigverliesuren per jaar opleveren.



figuur 3 Onnodig wachten (a) of doorrijden met intergroen (b).

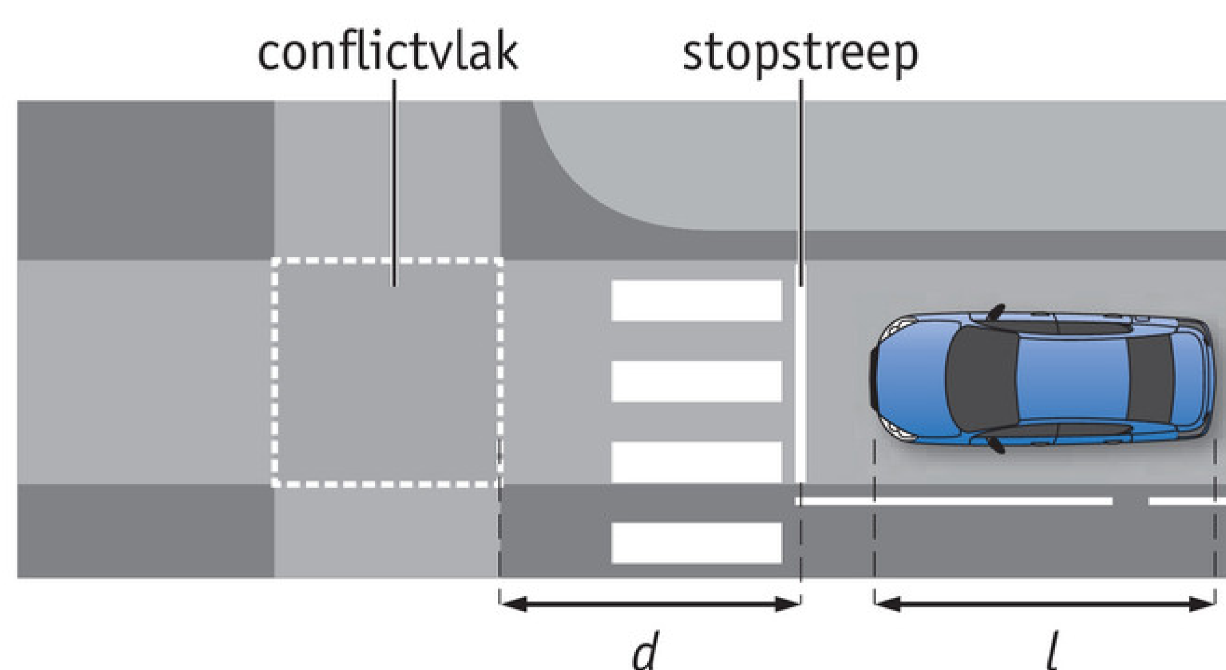
OPDRACHTEN

1

Als een verkeerslicht op rood springt, duurt het nog even voordat de laatste auto het conflictvlak heeft verlaten. De tijd die hiervoor nodig is, wordt de afrijtijd genoemd. De afrijtijd wordt berekend met de formule:

$$t_{af} = \frac{d + l}{v_{af}}$$

a Leg met behulp van figuur 4 uit wat de letters *d* en *l* betekenen.
b Leg uit waarom het noodzakelijk is om de *l* in de formule op te nemen.
c Hoe groot is de *l* voor een auto? En voor een bus? Maak een schatting.



figuur 4 Een auto nadert het conflictvlak.

2

Als een verkeerslicht op groen springt, duurt het nog even voordat de eerste auto het conflictvlak oprijdt. De tijd die hiervoor nodig is, wordt de oprijtijd genoemd. De oprijtijd wordt berekend met de formule:

$$t_{op} = \frac{d}{v_{op}}$$

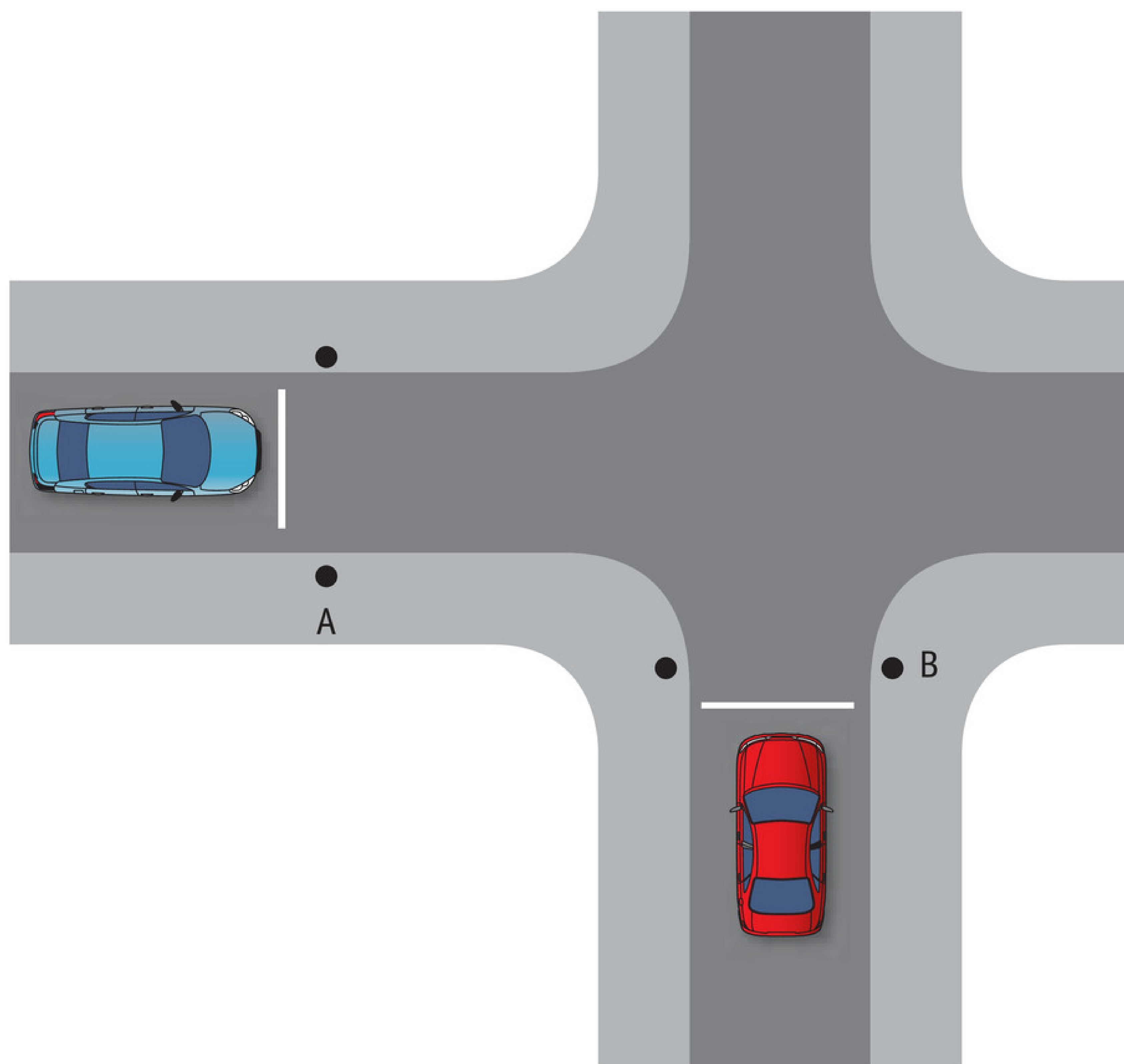
a Wat betekent de snelheid v_{op}?
b Leg uit waarom *l* niet voorkomt in deze formule.
c De formule gaat uit van een constante oprijsnelheid. In werkelijkheid is dat niet het geval.
Wordt de oprijtijd daardoor langer of korter?
d In Duitsland springt het licht eerst even op oranje voordat het groen wordt.
Leg uit hoe de oprijtijd daardoor verandert.

3 In figuur 5 zie je twee wegen voor eenrichtingsverkeer. De afstanden van de stopstreep tot het conflictvlak zijn niet even groot. Het licht springt bij B op rood, op hetzelfde moment dat het licht bij A op groen springt.

a Leg uit waarom het conflictvlak dan onnodig lang leeg is.

b In het artikel staat dat de ontruimingstijd t_{ontr} dan negatief is.
Stel een formule op voor t_{ontr}.

c Leg uit waarom er een botsgevaar ontstaat als het licht bij B op groen springt tegelijk met het rood worden bij A.



figuur 5 Twee wegen voor eenrichtingsverkeer.

4 Een verkeerslichteninstallatie wordt omgebouwd naar intergroen.
Leg uit waarom fietsers dan extra moeten worden gewaarschuwd voor het rijden door rood.

★ 5 Zoek op internet informatie over intergroen. Schrijf een korte tekst (één A4) waarin je vertelt wat intergroen inhoudt en wat de voor- en nadelen zijn.
Je docent zal je vertellen hoe deze opdracht wordt nagekeken en beoordeeld.

Leerstofoverzicht

4.1 VERSNELLEN EN VERTRAGEN

ONTHOUD

- Om een grafiek van een beweging te maken in een (*v*,*t*)-diagram teken je de snelheid op ieder gemeten tijdstip als een punt. Vervolgens teken je een lijn of kromme die zo goed mogelijk bij de punten aansluit.
- In een (*v*,*t*)-diagram komt een stijgende rechte lijn overeen met een eenparige versnelling, een dalende rechte lijn met een eenparige vertraging en een horizontale rechte lijn met een eenparige beweging.
- Je kunt een beweging ook vastleggen in een (*x*,*t*)-diagram. Hierbij teken je de plaats op ieder gemeten tijdstip. In dit diagram komt een parabool overeen met een versnelde beweging en een schuine lijn met een eenparige beweging.
- Een eenparige versnelling geeft aan met hoeveel m/s de snelheid per seconde toeneemt.
- De versnelling bereken je met de formule: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
- Bij een versnelling is *a* een positief getal, bij een vertraging is *a* een negatief getal.
- Met behulp van een (*v*,*t*)-diagram bepaal je de afgelegde afstand door de oppervlakte onder de grafiek af te lezen.

BEGRIPPEN

eenparig versnelde beweging
Een beweging waarvan de snelheid gelijkmatig groter wordt.

eenparig vertraagde beweging
Een beweging waarvan de snelheid gelijkmatig kleiner wordt.

eenparige beweging
Een beweging waarvan de snelheid constant blijft.

(plaats,tijd)-diagram
Een grafiek waarin de plaats is uitgezet tegen de tijd. Wordt ook (*x*,*t*)-diagram genoemd.

(snelheid,tijd)-diagram
Een grafiek waarin de snelheid is uitgezet tegen de tijd. Wordt ook (*v*,*t*)-diagram genoemd.

versnelde beweging
Een beweging waarvan de snelheid steeds groter wordt.

versnelling
De snelheidstoename per seconde.

vertraging
De snelheidsafname per seconde.

(*v*,*t*)-diagram
Een grafiek waarin de snelheid is uitgezet tegen de tijd. Wordt ook (snelheid,tijd)-diagram genoemd.

(*x*,*t*)-diagram
Een grafiek waarin de plaats is uitgezet tegen de tijd. Wordt ook (plaats,tijd)-diagram genoemd.

4.2 KRACHT, MASSA EN VERSNELLING

ONTHOUD

- Traagheid betekent dat een voorwerp niet van snelheid of van richting verandert, tenzij er een resultante op werkt.
- Voorwerpen met een grote massa hebben een grote traagheid. Dat betekent dat het moeilijk is (en dus lang duurt) om ze van snelheid of richting te laten veranderen.
- De kracht die nodig is om een voorwerp een bepaalde versnelling te geven bereken je met de formule: $F_{res} = m \cdot a$
- Als op een voorwerp alleen de zwaartekracht werkt, dan is dit voorwerp in vrije val. Op aarde kan dit alleen voorkomen bij voorwerpen die in een vacuüm gepompte ruimte naar beneden vallen.
- De valversnelling op aarde is gelijk aan 9,8 m/s^2. De valversnelling wordt weergegeven met het symbool *g*. De zwaartekracht op een voorwerp bereken je met de formule: $F_z = m \cdot g$

BEGRIPPEN

traagheid
De mate waarin een voorwerp van snelheid of richting kan veranderen. Voorwerpen met een grote massa hebben een grote traagheid en kunnen minder gemakkelijk van snelheid en richting veranderen.

tweede wet van Newton
De formule $F = m \cdot a$

valversnelling
Versnelling (9,8 m/s^2) waarmee voorwerpen in vrije val naar de aarde vallen.

vrije val
Een situatie waarbij op een voorwerp alleen de zwaartekracht werkt.

4.3 KRACHT EN ARBEID

ONTHOUD

- Om te bewegen heeft een voertuig op aarde altijd een voortstuwende kracht nodig. Dat is nodig omdat er altijd weerstandskrachten zijn die de beweging tegenwerken.
- Om te kunnen bewegen heeft een voertuig energie nodig. Een deel van deze energie gebruikt het voertuig nuttig. Met dit deel verricht de motor arbeid. Dat betekent dat de motor een kracht produceert die het voertuig voortstuwt over een bepaalde afstand. Arbeid is geen vorm van energie, maar een proces waarbij energie wordt omgezet.
- Arbeid bereken je met de formule: $W = F \cdot s$
- De eenheid van arbeid Nm is gelijk aan de eenheid van energie J. 1 Nm = 1 J.
- Het rendement van een motor bereken je door in de formule $\eta = \frac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100\%$ voor E_{nut} de verrichte arbeid in te vullen.

BEGRIPPEN

arbeid
De hoeveelheid energie die een motor nuttig gebruikt om een massa over een bepaalde afstand te verplaatsen.

4.4 REMMEN EN BOTSEN

ONTHOUD

- De stopafstand bereken je met de formule: *stopafstand* = *reactie-afstand* + *remweg*
- De stopafstand kun je in een (v,t)-diagram bepalen door de oppervlakte onder de grafiek af te lezen.
- Met een kreukelzone, veiligheidsgordels, airbags en een valhelm verleng je de botsingstijd, waardoor de remmende krachten worden verkleind.
- Met een veiligheidsgordel en een valhelm vergroot je de oppervlakte, zodat de druk op het lichaam tijdens een botsing wordt verkleind.
- De druk bereken je met de formule: $p = \frac{F}{A}$

BEGRIPPEN

druk
De kracht die een voorwerp op de ondergrond per oppervlakte-eenheid uitoefent.

kreukelzone
Het gedeelte aan de voor- en achterkant van een auto dat zo is gemaakt dat het bij een botsing in elkaar schuift.

reactie-afstand
De afstand die een voertuig tijdens de reactietijd aflegt.

reactietijd
De tijd tussen het zien van een gevaar en het in werking treden van de remmen.

remweg
De afstand die een voertuig tijdens het remmen aflegt.


Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.

5 Schakelingen

AUTOMATISCH REGELEN

In veel apparaten zit een schakeling die iets kan detecteren en daarop kan reageren. Dankzij die schakeling kan een apparaat zelfstandig taken uitvoeren zoals stationspoortjes openen, frisdrank verkopen, alarm slaan, de temperatuur regelen en een lamp aandoen.




8
8
7

Wat weet je al over schakelingen?

LEERDOELEN

1. Je kent de symbolen die je gebruikt om een schakelschema te maken.
2. Je kunt enkele toepassingen geven van infrarode straling.
3. Je kunt uitleggen wat spanning en stroomsterkte zijn en hoe je deze grootheden meet.
4. Je kunt het verschil tussen een parallelschakeling en een serieschakeling uitleggen.

In deel 1-2 van Nova nask en in hoofdstuk 1 van dit leerjaar heb je al een aantal dingen geleerd over elektriciteit. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

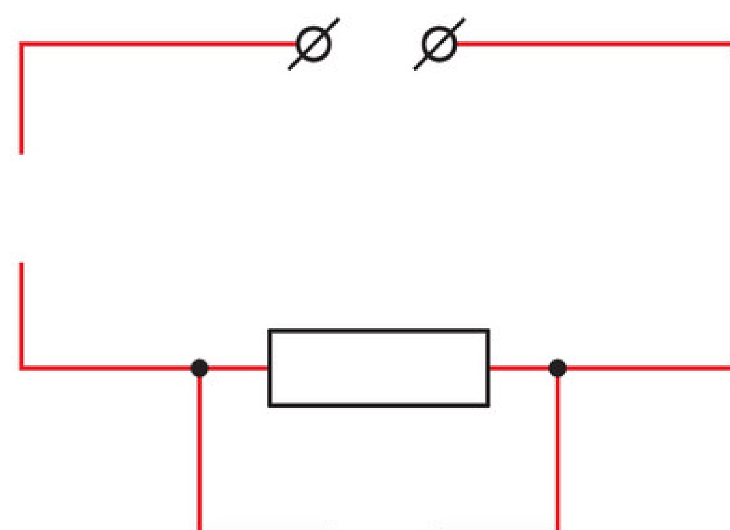
OPDRACHTEN VOORKENNIS

1 Koppel de juiste component aan elk symbool.

A		○	○ 1 batterij
B		○	○ 2 lampje
C	A	○	○ 3 led
D	V	○	○ 4 schakelaar
E	open / dicht	○	○ 5 spanningsmeter
F		○	○ 6 stroommeter

2 Onderstreep de soorten straling die het menselijk oog kan waarnemen.
ir-straling – licht – uv-straling

3 Je kunt de spanning over een draad meten met een spanningsmeter en de stroomsterkte door een draad met een stroommeter.
Teken in figuur 1 de symbolen voor de beide meters op de juiste plaats.



figuur 1 Spanningsmeter en stroommeter in een schakeling.

4 In een parallelschakeling verdeelt de *spanning* / *stroomsterkte* zich over alle vertakkingen. De *spanning* / *stroomsterkte* is bij deze schakeling gelijk voor alle vertakkingen. In een serieschakeling is de *spanning* / *stroomsterkte* door de gehele schakeling gelijk. Hier verdeelt de *spanning* / *stroomsterkte* zich over de verschillende schakelcomponenten.



Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*. Daar vind je ook filmpjes over de belangrijkste leerdoelen voor dit hoofdstuk.

1 Lading en spanning

LEERDOELEN

5.1.1 Je kunt beschrijven hoe je een neutraal voorwerp van perspex of pvc elektrisch kunt laden.
5.1.2 Je kunt uitleggen hoe positieve lading en negatieve lading van elkaar zijn te onderscheiden.
5.1.3 Je kunt uitleggen welke rol elektronen spelen bij het laden en ontladen van een voorwerp.
5.1.4 Je kunt twee manieren beschrijven waarop een geladen voorwerp kan worden ontladen.
5.1.5 Je kunt toelichten welke spanningsbronnen in het dagelijks leven worden gebruikt.
5.1.6 Je kunt berekeningen uitvoeren met de formule $Q = I \cdot t$.
PLUS 5.1.7 Je kunt rekenen met de elementaire lading van een elektron en een proton.

Als je op een droge winterdag een fleecetrui uittrekt, hoor je een zacht geknetter. In het donker kun je zelfs vonkjes zien overspringen. Die vonkjes zijn ontladingen van statische elektriciteit: ongevaarlijk onder normale omstandigheden, maar niet echt aangenaam als de stroom via je lichaam loopt.

VOORWERPEN OPLADEN

Als je met een wollen doek over een pvc-buis wrijft, trekt de buis daarna papieren snippers aan. Ook een dun waterstraaltje wordt door de buis aangetrokken. Je zegt dat de pvc-buis door het wrijven **elektrisch geladen** of **statisch** geworden is.



figuur 1 Polystyreen balletjes worden aangetrokken door een kam die door wrijving is geladen.

Dat een voorwerp geladen is, merk je doordat het andere voorwerpen aantrekt (figuur 1). Dat kun je bijvoorbeeld zien doordat er zich veel stof op het voorwerp verzamelt. Er kunnen ook vonkjes overspringen naar andere voorwerpen. Dat kun je horen als een zacht geknetter en soms ook zien of voelen.

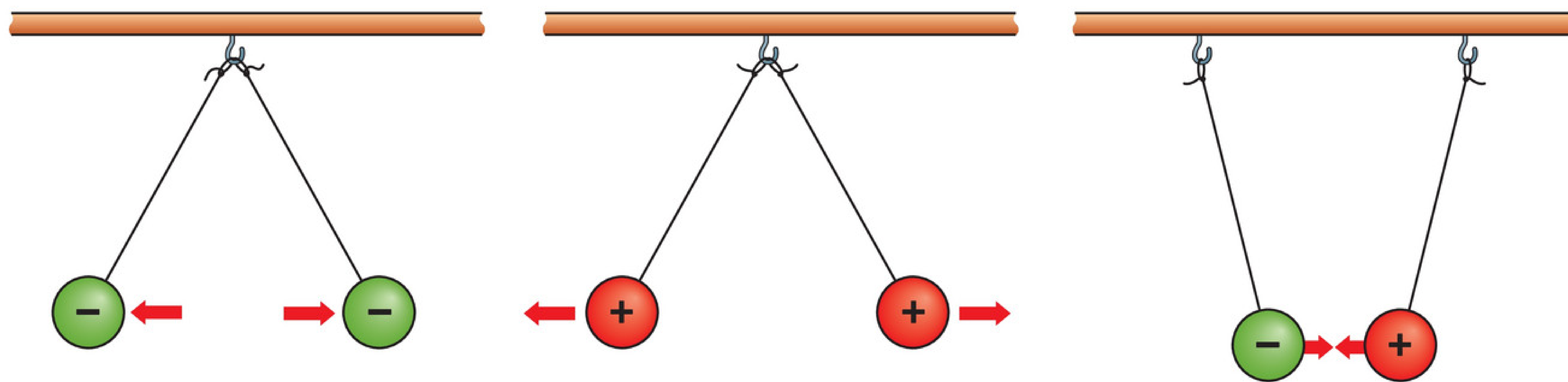
Een geladen voorwerp is zijn lading meestal snel weer kwijt. Hoe meer waterdamp er in de lucht zit, des te sneller ontlaadt het voorwerp weer. Proeven met geladen voorwerpen lukken daardoor het best als de lucht erg droog is.

POSITIEVE EN NEGATIEVE LADING

Als je met een zijden doek flink over een perspex staaf wrijft, wordt de staaf geladen. Dat gebeurt ook als je met een wollen doek over een pvc-buis wrijft. Toch is er een verschil tussen de lading die beide voorwerpen hebben gekregen. Twee geladen perspex staven stoten elkaar af. Hetzelfde geldt voor twee geladen pvc-buizen. Maar een geladen perspex staaf en een geladen pvc-buis trekken elkaar aan.

Je kunt deze proeven herhalen met voorwerpen en doeken die van allerlei verschillende stoffen zijn gemaakt. Je merkt dan dat er twee soorten lading bestaan. Voorwerpen met dezelfde lading stoten elkaar af. Voorwerpen met een verschillende lading trekken elkaar aan.

De ene soort **lading** noem je **positief** of plus, de andere soort noem je **negatief** of min. Een perspex staaf die met een zijden doek is gewreven, heeft een positieve lading. Een pvc-buis die met een wollen doek is gewreven, heeft een negatieve lading. Plus en plus stoten elkaar af, net als min en min, maar plus en min trekken elkaar aan (figuur 2).



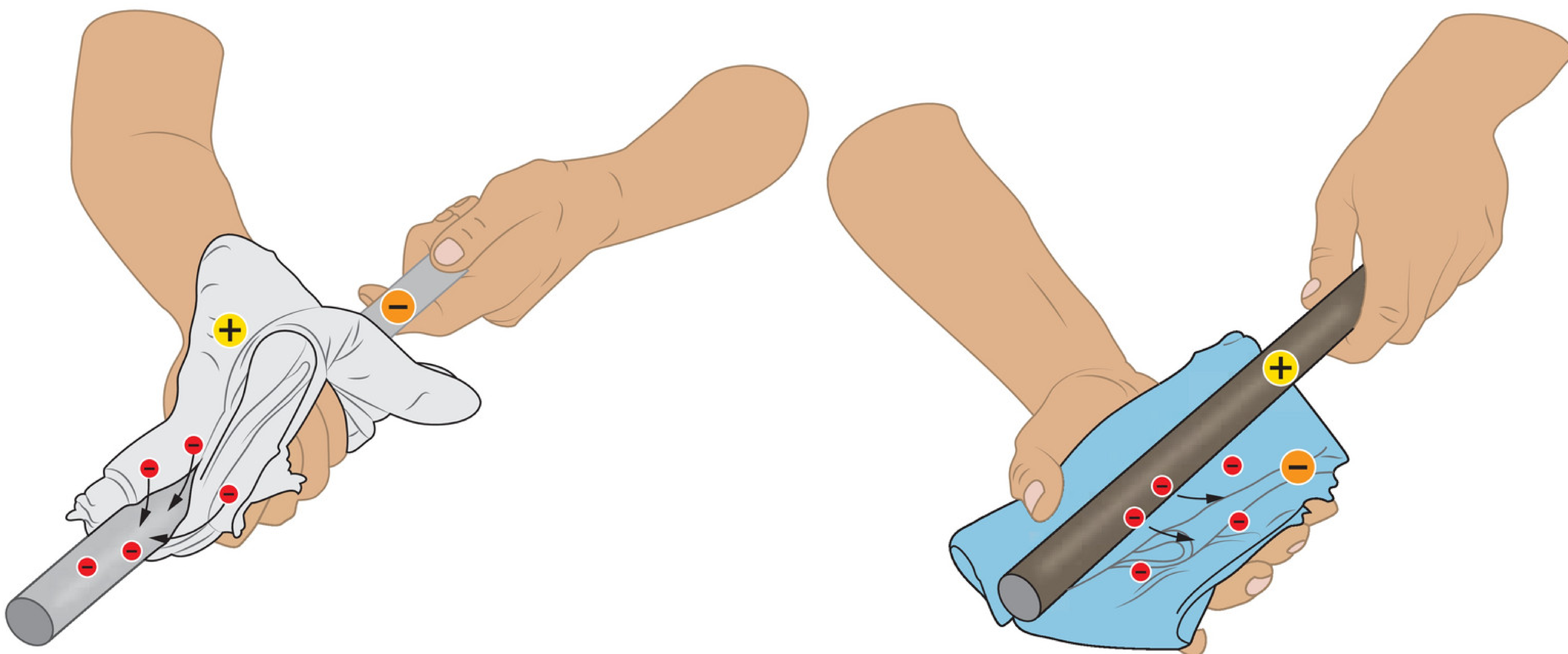
figuur 2 Afstoten en aantrekken.

ELEKTRONEN

Een niet-geladen voorwerp bevat precies evenveel positieve als negatieve lading. Daardoor merk je niet dat zo'n voorwerp lading bevat. Je zegt dat het (elektrisch) **neutraal** is. Sommige voorwerpen kun je een lading geven door er met een doek over te wrijven. Natuurkundigen hebben ontdekt dat er dan kleine, negatief geladen deeltjes 'overspringen' van de doek naar het voorwerp of omgekeerd. Deze deeltjes heten **elektronen**.

Er zijn nu twee mogelijkheden (figuur 3):

- De elektronen gaan van de doek naar het voorwerp. Het voorwerp krijgt daardoor een overschot aan elektronen. Het is in totaal negatief geladen. Voor de doek geldt het omgekeerde: die raakt elektronen kwijt en wordt daardoor positief geladen.
- De elektronen gaan van het voorwerp naar de doek. Dan gebeurt het omgekeerde. Het voorwerp raakt elektronen kwijt en wordt positief geladen. De doek krijgt er elektronen bij en wordt negatief geladen.

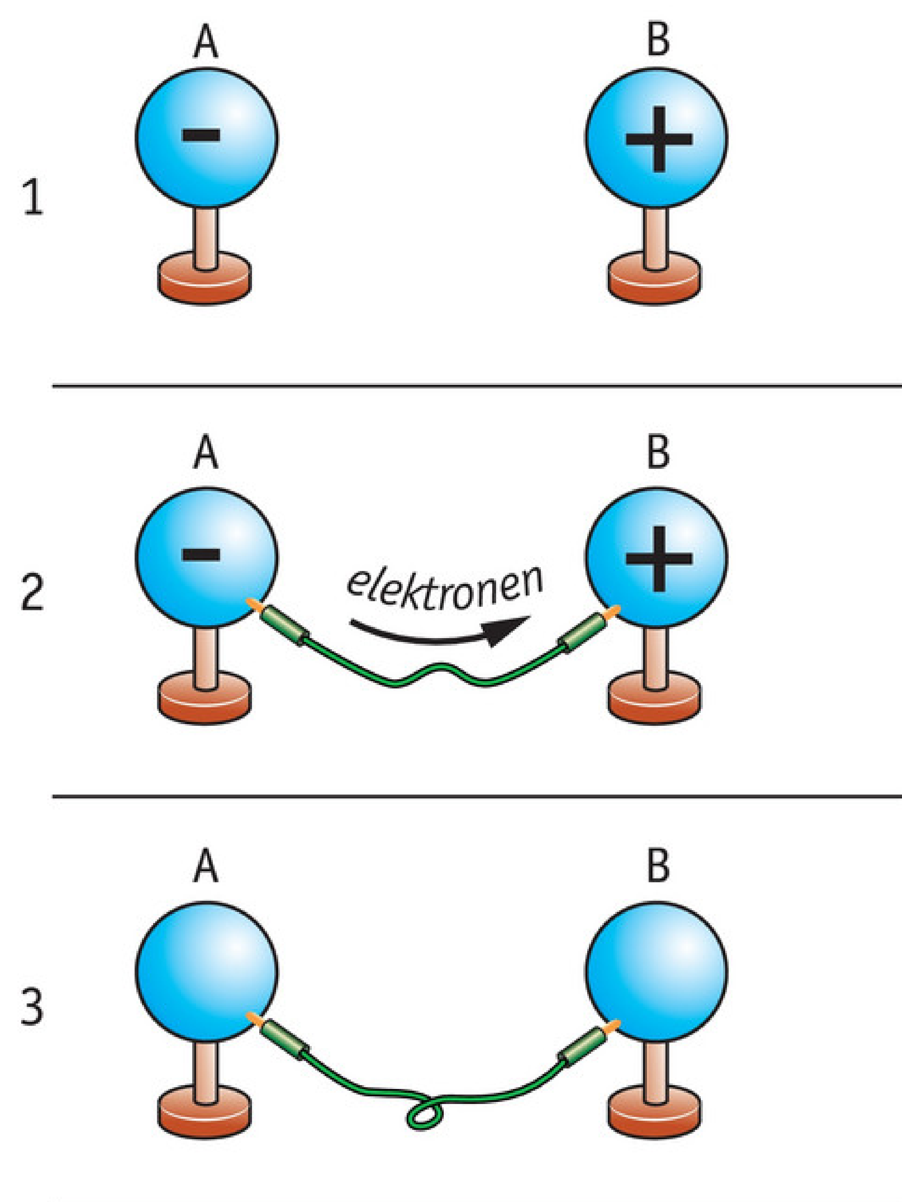


figuur 3 Bij wrijven verplaatsen elektronen zich.

De positieve lading van een voorwerp is ook afkomstig van deeltjes. Deze deeltjes heten **protonen**. In een vaste stof kunnen protonen niet van hun plaats komen. Ze kunnen dus ook niet van het ene naar het andere voorwerp bewegen. Bij het wrijven over een voorwerp verplaats je dus altijd elektronen met een negatieve lading en nooit protonen met een positieve lading.

SPANNING ONTLADEN

In figuur 4 zie je twee even grote metalen bollen op een plastic voet. Bol A is negatief geladen, bol B is positief geladen. In zo'n geval zeg je dat er tussen A en B een **spanning** bestaat. Zodra je tussen A en B een geleidende verbinding maakt, gaan er elektronen bewegen van A naar B. Er loopt dan een elektrische stroom.



figuur 4 Elektronen bewegen van min naar plus.

De stroom tussen A en B loopt maar heel even. Dat komt doordat er tussen A en B al heel snel geen spanning meer bestaat; de beide bollen hebben dan dezelfde lading gekregen. Een geladen voorwerp kan ook ontladen doordat er een vonk overspringt naar iets of iemand anders. Ook dat duurt maar heel kort: het geladen voorwerp raakt in een fractie van een seconde zijn lading kwijt.

Als er tussen geladen voorwerpen en hun omgeving een hoge spanning bestaat, kunnen er vonken overspringen. Aan de buitenkant van een auto kan zich tijdens het rijden bijvoorbeeld een spanning opbouwen van wel 3000 V. Als je uitstapt, merk je dat: je voelt een schok als de auto zich via je lichaam ontlaadt. Zo'n schok is niet gevaarlijk, omdat er maar een kleine stroom heel kort door je lichaam loopt.

Met een elektriseermachine kun je statische lading met een hoge spanning opwekken (figuur 5). Maar zo'n machine is heel snel weer ontladen. Voor praktische doeleinden heb je daar weinig aan. Dan heb je een spanningsbron nodig die lange tijd stroom kan laten lopen, terwijl de spanning constant blijft. Daarom gebruik je in het dagelijkse leven dynamo's, accu's en batterijen.

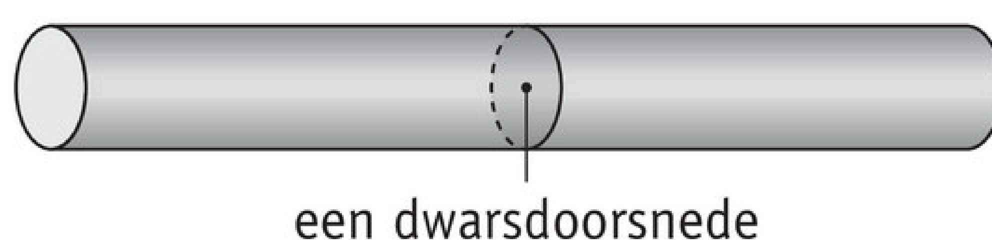


figuur 5 Deze grote elektriseermachine staat in Teylers Museum in Haarlem.

LADING EN STROOMSTERKTE

Als er een stroom van 1 ampère door een draad loopt, bewegen er elke seconde $6{,}2 \cdot 10^{18}$ elektronen door een dwarsdoorsnede van die draad (figuur 6). Ook al heeft elk elektron een uiterst kleine lading, door hun enorm grote aantal ontstaat er een hoeveelheid lading waar je in de praktijk mee kunt werken.

De eenheid van lading, de coulomb (symbool C), is gebaseerd op de ampère en de seconde. Deze eenheid is genoemd naar de Franse onderzoeker Charles-Augustin Coulomb (1736–1806). Een stroomsterkte van 1 ampère vervoert in 1 seconde 1 coulomb lading (gemeten door een dwarsdoorsnede van de geleider). Je kunt ook zeggen:
1 coulomb is gelijk aan de lading van $6{,}2 \cdot 10^{18}$ elektronen.



figuur 6 Een draad is een langgerekte cilinder met een cirkelvormige doorsnede.

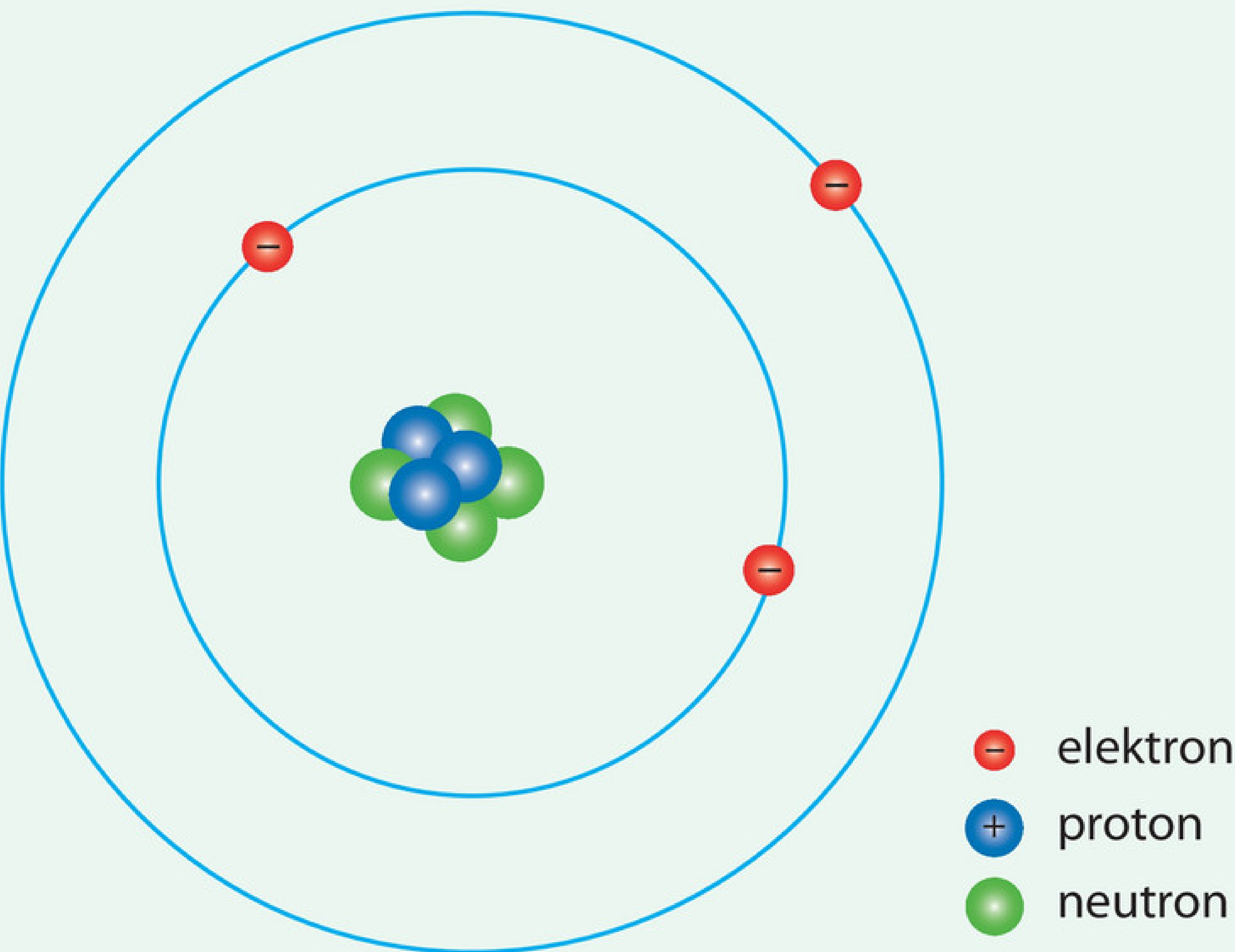
De totale hoeveelheid lading die door een draad stroomt, hangt af van de stroomsterkte en de tijd. Het verband wordt gegeven door de formule:

$$Q = I \cdot t$$

Hierin is:
- Q de hoeveelheid lading in coulomb (C);
- I de stroomsterkte in ampère (A);
- t de tijd in seconde (s).

PLUS DE ELEMENTAIRE LADING

Lading is net als massa een fundamentele eigenschap van materie. Dat wordt duidelijk als je naar de atomen kijkt waaruit alle materie is opgebouwd. In figuur 7 zie je een vereenvoudigde weergave van een atoom van het metaal lithium. Zoals elk atoom bestaat het lithiumatoom uit een positief geladen kern met daaromheen een wolk van negatief geladen elektronen. De kern is op zijn beurt weer opgebouwd uit protonen en neutronen.



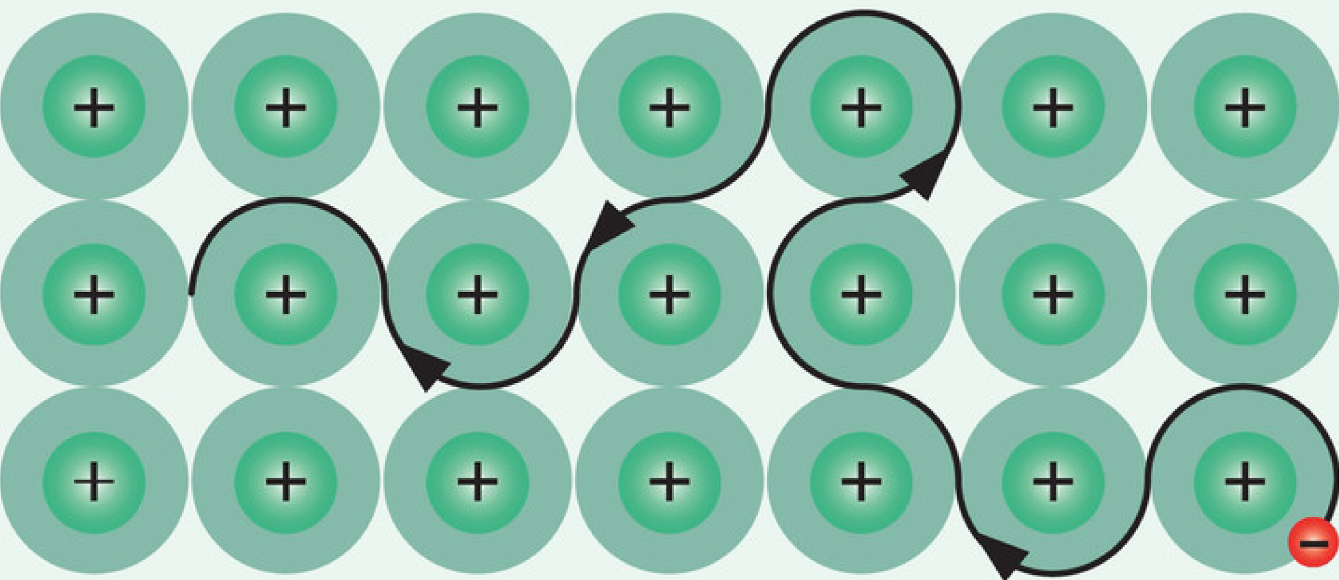
figuur 7 Een model van een lithiumatoom (atoomnummer 3).

Zoals je in tabel 1 ziet, is de lading van een elektron heel klein: $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Deze lading is negatief. Een proton heeft een even grote, positieve lading: $+1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Dit zijn de kleinste hoeveelheden lading die in de natuur voorkomen. Vaak wordt gezegd dat de elementaire lading $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C is. Je moet dan zelf bedenken dat die lading negatief is voor een elektron en positief voor een proton. Een atoom heeft evenveel protonen als elektronen. Daardoor is een atoom als geheel elektrisch neutraal.

tabel 1 Enkele eigenschappen van de deeltjes in een atoom.

deeltje	lading (coulomb)	massa (kg)
proton	$+1{,}6 \cdot 10^{-19}$	$1{,}7 \cdot 10^{-27}$
neutron	0	$1{,}7 \cdot 10^{-27}$
elektron	$-1{,}6 \cdot 10^{-19}$	$9{,}1 \cdot 10^{-31}$

In metalen kunnen de buitenste elektronen van een atoom zich gemakkelijk van het ene naar het andere atoom verplaatsen (figuur 8). Deze elektronen noem je dan ook vrije elektronen. Als je een metalen voorwerp aansluit op een batterij, bewegen de vrije elektronen in één richting, van de minpool naar de pluspool van de batterij: er loopt een stroom. Alle metalen zijn daardoor geleiders. Andere stoffen hebben geen vrije elektronen en zijn daardoor isolatoren.



figuur 8 Zo bewegen vrije elektronen door een metaalrooster.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Bij een proef met statische elektriciteit worden twee geladen bollen met elkaar verbonden. In 10 ms bewegen er $7{,}5 \cdot 10^{12}$ vrije elektronen van de ene bol naar de andere. Bereken de gemiddelde stroomsterkte.

gegevens $Q = 7{,}5 \cdot 10^{12} \times -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C} = -1{,}2 \cdot 10^{-6}\ \text{C}$
$t = 10\ \text{ms} = 0{,}010\ \text{s}$

gevraagd $I = ?$

uitwerking $I = \dfrac{Q}{t} = \dfrac{-1{,}2 \cdot 10^{-6}}{0{,}010} = -1{,}2 \cdot 10^{-4}\ \text{A} = -0{,}12\ \text{mA}$

Het minteken zegt iets over de richting van de stroom. Vaak is die richting niet van belang en wordt het minteken stilzwijgend weggelaten.

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Je kunt een pvc-buis negatief laden door erover te wrijven met een wollen doek.
- **a** Leg uit hoe het komt dat de buis een lading krijgt.
- **b** De deeltjes die hierbij van het ene naar het andere voorwerp ‘overspringen’ heten ....
- **c** Deze deeltjes gaan *van de buis naar de doek* / *van de doek naar de buis*.
- **d** Waarom kunnen de positieve deeltjes niet overspringen?

2 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Waaraan kun je merken dat een voorwerp elektrisch geladen (statisch) is?
- **b** Wat weet je over de hoeveelheid lading in een voorwerp dat neutraal is?
- **c** Waardoor komt het dat je soms een schok voelt als je na een rit uit de auto stapt?

TOEPASSING

3 Bij helder vriesweer is de luchtvochtigheid laag. Je kunt dan goed merken dat voorwerpen door wrijving elektrisch geladen worden.
Op welke manier(en) kun je merken:
- **a** dat je haar en kam geladen worden als je je haar kamt?
- **b** dat een fleecetrui geladen wordt als je hem over je hoofd uittrekt?
- **c** dat een strook plakband geladen wordt als je hem lostrekt van de rol?

4 Danique houdt tijdens een demonstratieproef een elektriseermachine vast (figuur 9).
- **a** Wat is de functie van een elektriseermachine?
- **b** Verklaar wat er gebeurt met de haren van Danique in figuur 9.
- **c** Danique staat op een isolerende ondergrond.
  Leg uit waarom dat nodig is.
- **d** De spanning kan bij deze proef oplopen tot wel 10 kV, maar is toch niet gevaarlijk.
  Leg uit waardoor dat komt en wat het verschil is met de spanning van het lichtnet.



figuur 9 Danique houdt een vandegraaffgenerator (een soort elektriseermachine) vast.

5 Tijdens een vlucht kan een vliegtuig geladen worden door de weerstandskrachten van de lucht.

a Leg uit waarom die elektrische lading een risico kan vormen als het vliegtuig na de landing wordt bijgetankt.

b Waarom is de kans op een ongeluk het grootst in de winter, vooral als het op de luchthaven stevig vriest?

c Waarom moet je het vliegtuig voor het tanken eerst via een metalen 'aardekabel' met de tankauto verbinden (figuur 10)?

d Leg uit waarom de chauffeur bij het aanleggen van de kabel goed isolerende handschoenen moet dragen.

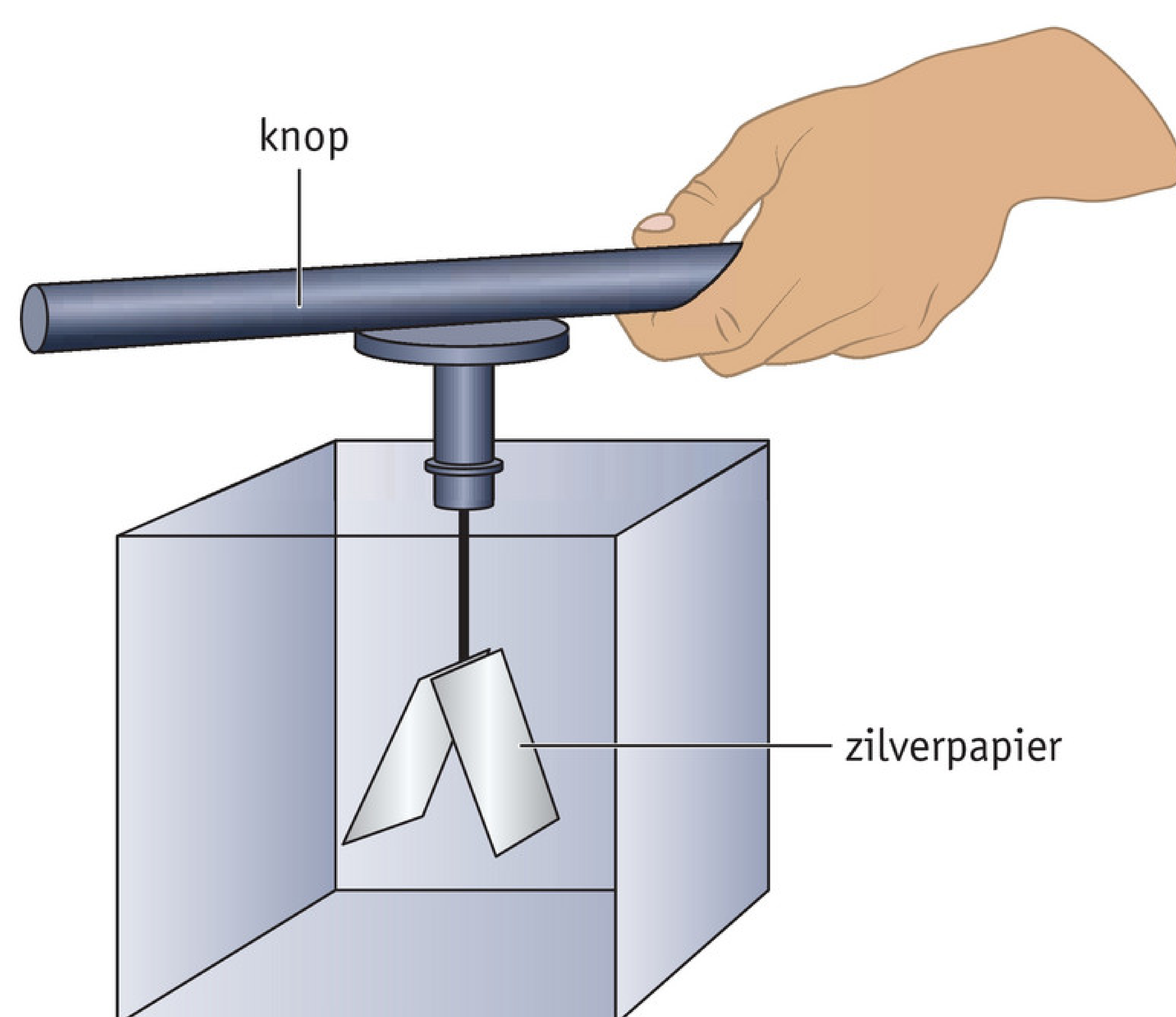


figuur 10 De chauffeur van de tankauto rolt de aardekabel af.

6 In figuur 11 zie je een elektroscoop. Met dit apparaat kun je nagaan of een voorwerp geladen is. Als je met een geladen voorwerp de knop aanraakt, bewegen de twee blaadjes zilverpapier bij elkaar vandaan.

a Leg uit waardoor dat komt.

b Leg uit of je aan de uitslag van de elektroscoop kunt zien of hij positief of negatief geladen is.



figuur 11 Een elektroscoop.

7 Marieke verbindt de knop van een positief geladen elektroscoop A via een geleidende draad met een even sterk negatief geladen elektroscoop B.

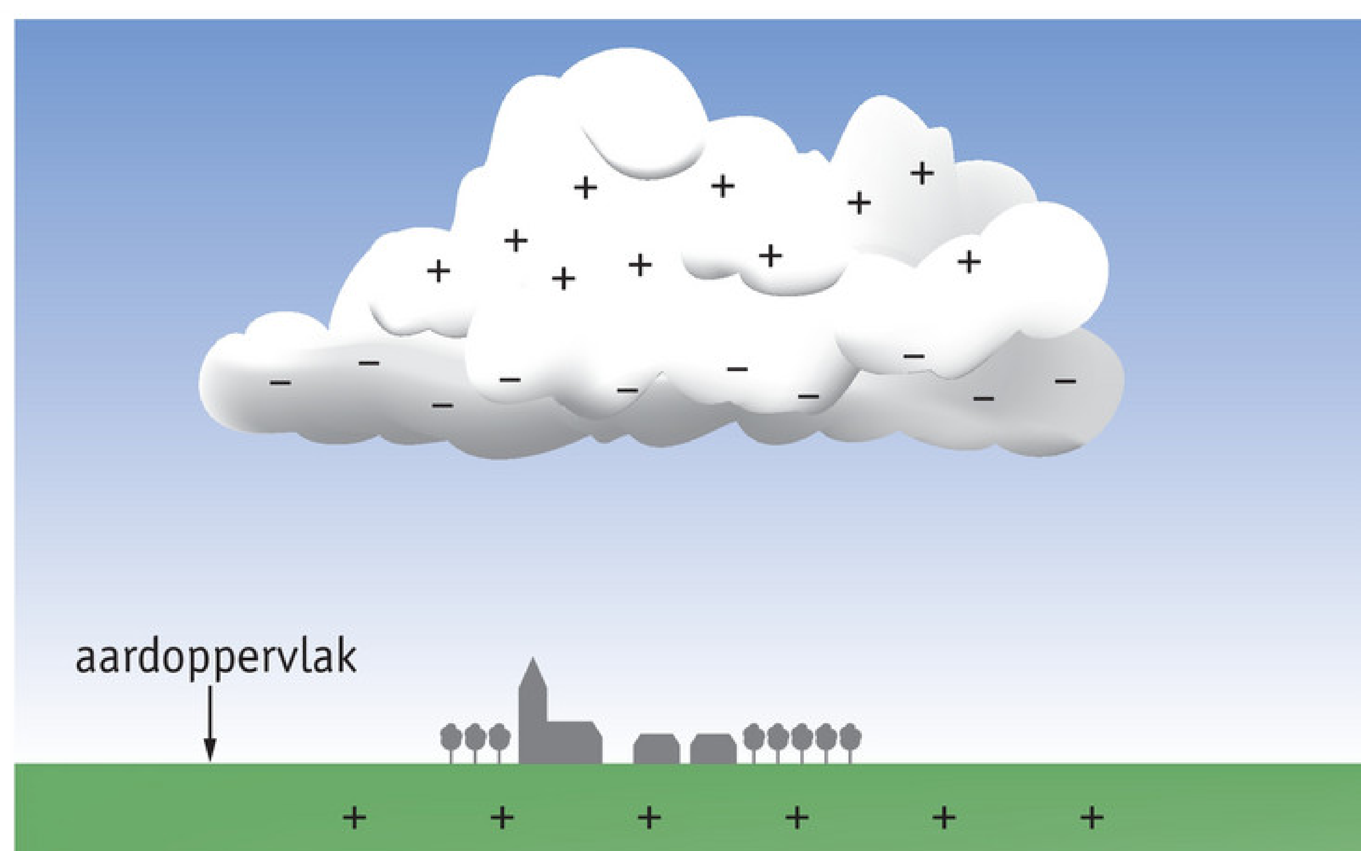
a Wat gebeurt er met de uitslag van beide elektroscopen?

b Beschrijf wat er is gebeurd na het verbinden van beide elektroscopen.

8 Tussen de onderkant van een onweerswolk en de aarde bestaat een groot spanningsverschil.

a Geef twee redenen waarom de combinatie onweerswolk-aarde geen geschikte spanningsbron is voor praktische toepassingen.

b De bovenkant van een onweerswolk is positief geladen en de onderkant negatief (figuur 12).
Leg uit waardoor het aardoppervlak onder de wolk positief geladen wordt.



figuur 12 De verdeling van ladingen in een onweerswolk.

★ 9 Een AA-batterij levert 40 uur lang een stroom van 50 mA. Daarna is ze ‘leeg’; dat wil zeggen dat ze niet voldoende spanning meer kan leveren.

a Hoeveel lading is er in die tijd uit de batterij gestroomd?

b Beredeneer hoelang hetzelfde type AA-batterij een stroom van 10 mA kan leveren.

 Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS DE ELEMENTAIRE LADING

10 Ionen zijn geladen atomen die een overschot of een tekort aan elektronen hebben. Er bestaan verschillende koperionen, waaronder het ion Cu^{2+}.

a Leg uit of dit koperion een tekort of juist een overschot aan elektronen heeft.

b Bereken de grootte van de lading van Cu^{2+}.

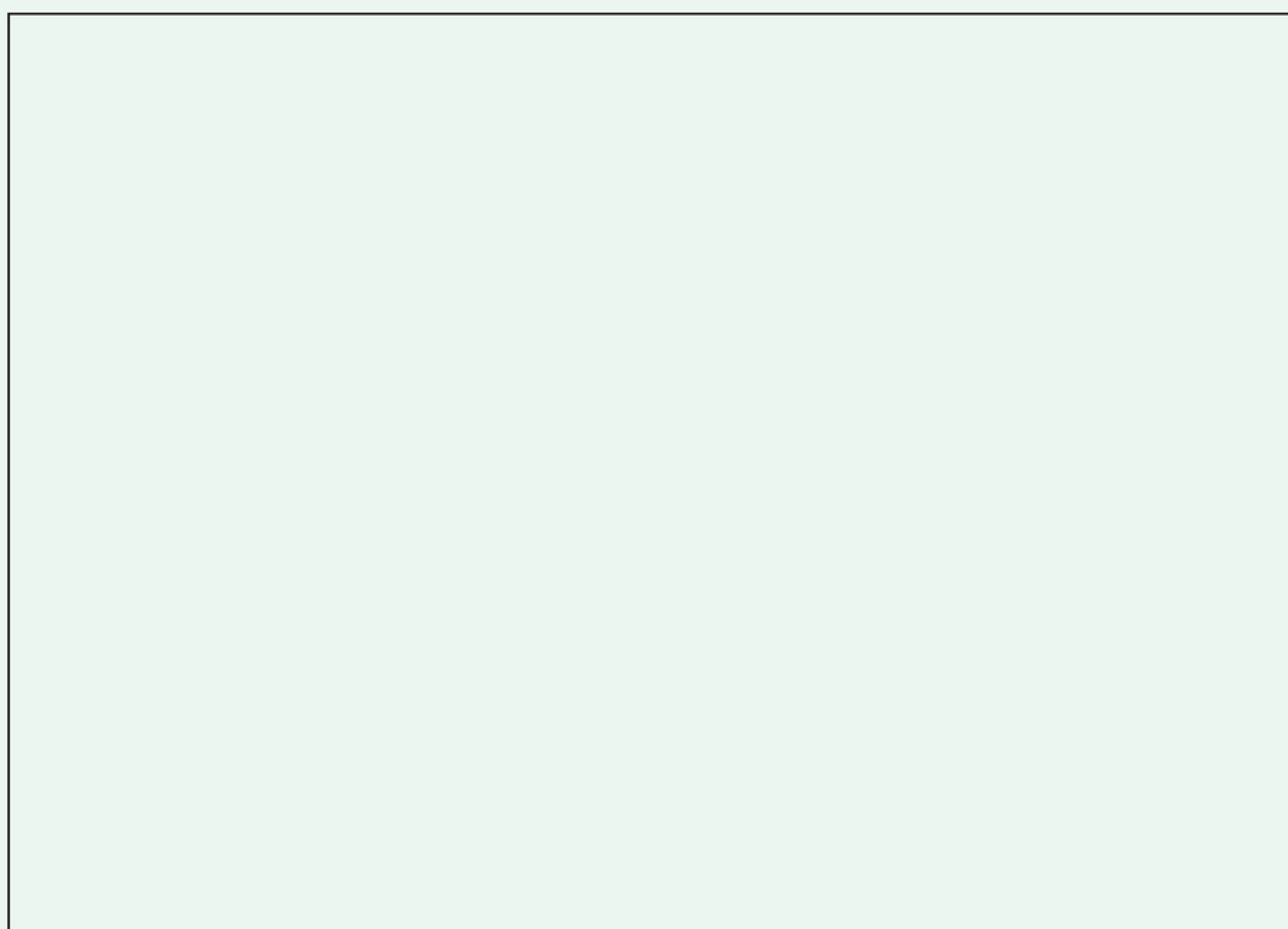
c In een koperen bolletje zitten vrije elektronen in het metaalrooster van koperatomen.
In het bolletje bevinden zich $4{,}0 \cdot 10^{24}$ koperatomen met elk twee vrije elektronen.
Esther geeft het (geïsoleerde) bolletje een lading van +3,0 mC. Bereken hoeveel procent van de aanwezige vrije elektronen van de bol zijn verdwenen.

11 In Nederland maken arrestatieteams soms gebruik van een stroomstootwapen. Deze wapens worden ook wel tasers genoemd. Als de politie een taser gebruikt, worden twee draadjes op de verdachte afgeschoten (figuur 13). De taser heeft een spanningsbron, waardoor er stroom door de draden gaat lopen. De spanning is groot, maar omdat de stroom slechts 2,1 mA is, is de schok wel pijnlijk, maar niet gevaarlijk voor de verdachte.



figuur 13 Als de politie een taser gebruikt, worden twee draadjes op de verdachte afgeschoten.

a Maak een schets van de stroomkring die hierboven wordt beschreven.



figuur 14 Stroomkring bij het gebruik van een taser.

b Bereken hoeveel seconden een schok van de taser duurt als er $4{,}6 \cdot 10^{16}$ elektronen door de verdachte gaan.

c Leg uit hoe het kan dat een taser, ondanks de grote spanning die erop staat, toch niet gevaarlijk is voor de verdachte.

2 Weerstand

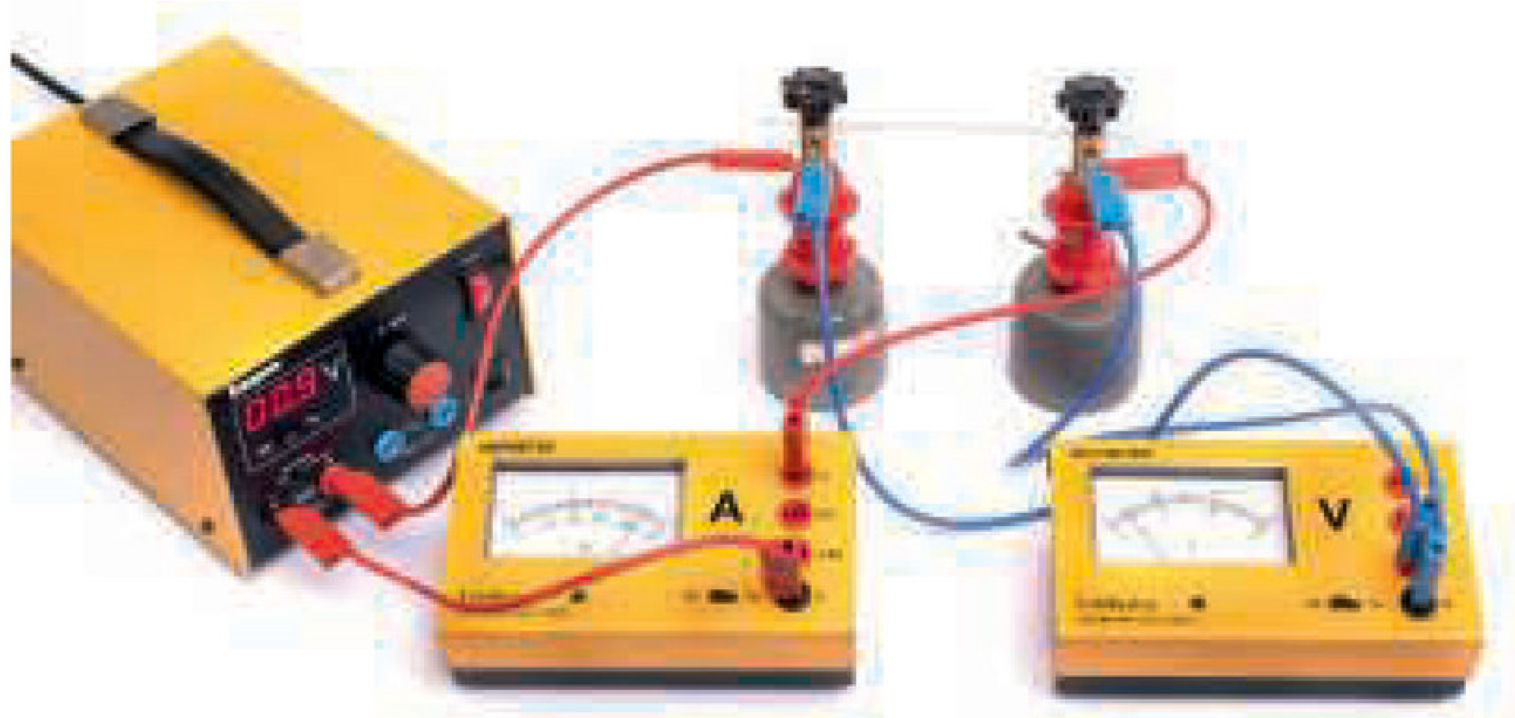
LEERDOELEN

5.2.1 Je kunt uitleggen hoe je de weerstand van een draad of een andere component bepaalt.
5.2.2 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen weerstand, spanning en stroomsterkte.
5.2.3 Je kunt het verschil uitleggen tussen een ohmse weerstand en een niet-ohmse weerstand.
5.2.4 Je kunt beschrijven hoe de weerstand van een NTC of LDR afhangt van andere grootheden.
5.2.5 Je kunt uitleggen hoe je op een regelbare weerstand de gewenste weerstand kunt instellen.
PLUS 5.2.6 Je kunt de soortelijke weerstand gebruiken om de weerstand van een draad te berekenen.

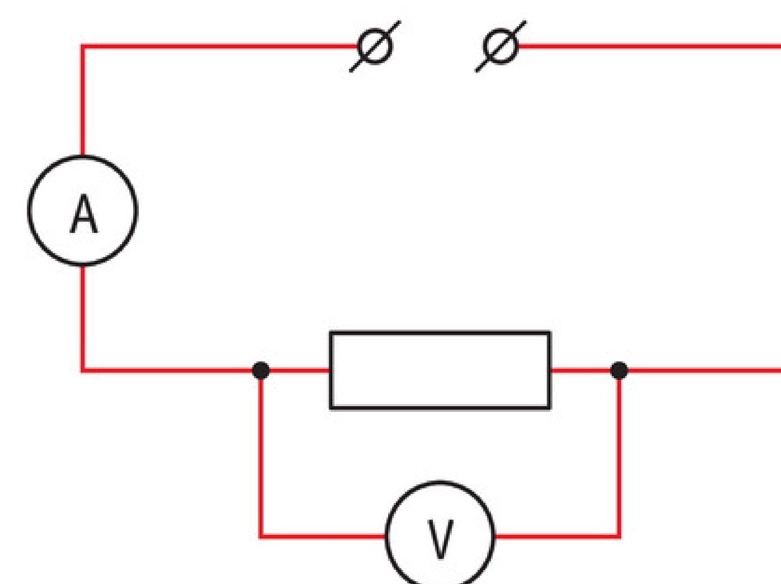
In huis heb je allerlei apparaten die op de netspanning van 230 V werken. De hoeveelheid stroom die door die apparaten loopt, kan heel verschillend zijn. De stroomsterkte door een wasdroger is bijvoorbeeld veel groter dan de stroomsterkte door een lamp. Blijkbaar ondervindt de stroom elektronen in de wasdroger minder weerstand.

DE WEERSTAND BEPALEN

Met de opstelling in figuur 1 kun je het verband meten tussen de spanning *over* een draad en de stroom *door* een draad. Met 'de spanning over een draad' wordt de spanning tussen de beide uiteinden van de draad bedoeld. In figuur 2 staat het schema van de schakeling.



figuur 1 Zo bepaal je de weerstand van een draad.



figuur 2 Het schakelschema van de schakeling in figuur 1.

Als je deze proef uitvoert met verschillende draden merk je dat de verschillen groot zijn. Bij sommige draden is er een grote spanning nodig om een klein stroompje door de draad te 'persen'. Zo'n draad heeft een grote **weerstand**: de stroom gaat er moeilijk doorheen. Er zijn ook draden waarbij een kleine spanning al een flinke stroomsterkte oplevert. Zo'n draad heeft een kleine weerstand: de stroom gaat er gemakkelijk doorheen.

Je kunt de weerstand van een schakelonderdeel dus definiëren met behulp van de spanning (*over* het onderdeel) en de stroomsterkte (*door* het onderdeel). Volgens die definitie is de weerstand gelijk aan de spanning gedeeld door de stroomsterkte. Zo vind je een bruikbare getalswaarde voor de weerstand. In formulevorm:

$$R = \frac{U}{I}$$

Hierin is:

- R de weerstand in ohm (Ω);
- U de spanning in volt (V);
- I de stroomsterkte in ampère (A).

De eenheid voor weerstand is genoemd naar de Duitse natuurkundige Georg Simon Ohm (1789–1854).

VOORBEELDOPDRACHT 1

Op de verpakking van een lampje staat: 12 V/50 mA.
Bereken de weerstand in kilo-ohm (kΩ) als het lampje op de juiste spanning brandt.

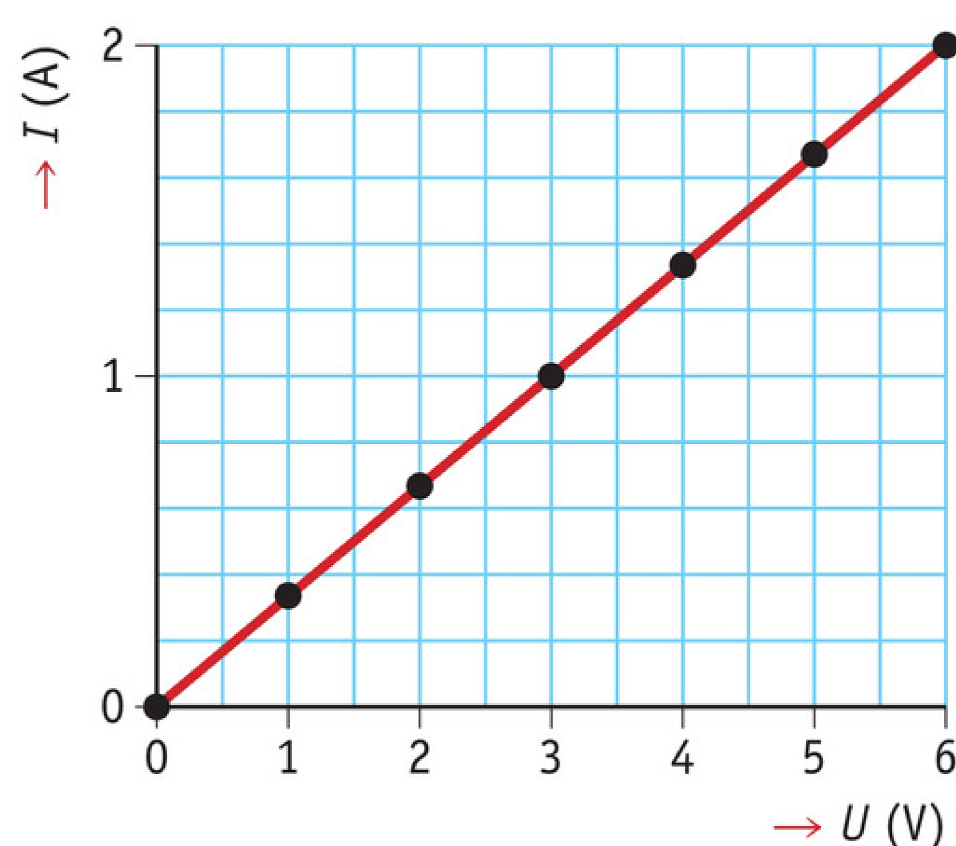
gegevens U = 12 V
I = 50 mA = 0,050 A

gevraagd R = ?

uitwerking $R = \frac{U}{I} = \frac{12}{0{,}050} = 2{,}4 \cdot 10^2\ \Omega = 0{,}24\ \text{k}\Omega$

DE WET VAN OHM

PROEF 1 Je kunt de opstelling in figuur 1 gebruiken om een serie metingen te doen waarbij je de spanning steeds verder opvoert. In figuur 3 zijn de resultaten van zo'n proef getekend. Voor de proef is een draad gebruikt van het metaal constantaan, een legering van koper, nikkel en mangaan. In de grafiek is de stroomsterkte uitgezet tegen de spanning. Je noemt zo'n grafiek een **(*I*,*U*)-diagram**.



figuur 3 Het (*I*,*U*)-diagram van een constantaandraad.

Je ziet:

- Als de spanning 2× zo groot wordt, wordt de stroomsterkte ook 2× zo groot.
- Als de spanning 3× zo groot wordt, wordt de stroomsterkte ook 3× zo groot.
- Enzovoort.

Met andere woorden:

De spanning (over de draad) en de stroomsterkte (door de draad) zijn recht evenredig.

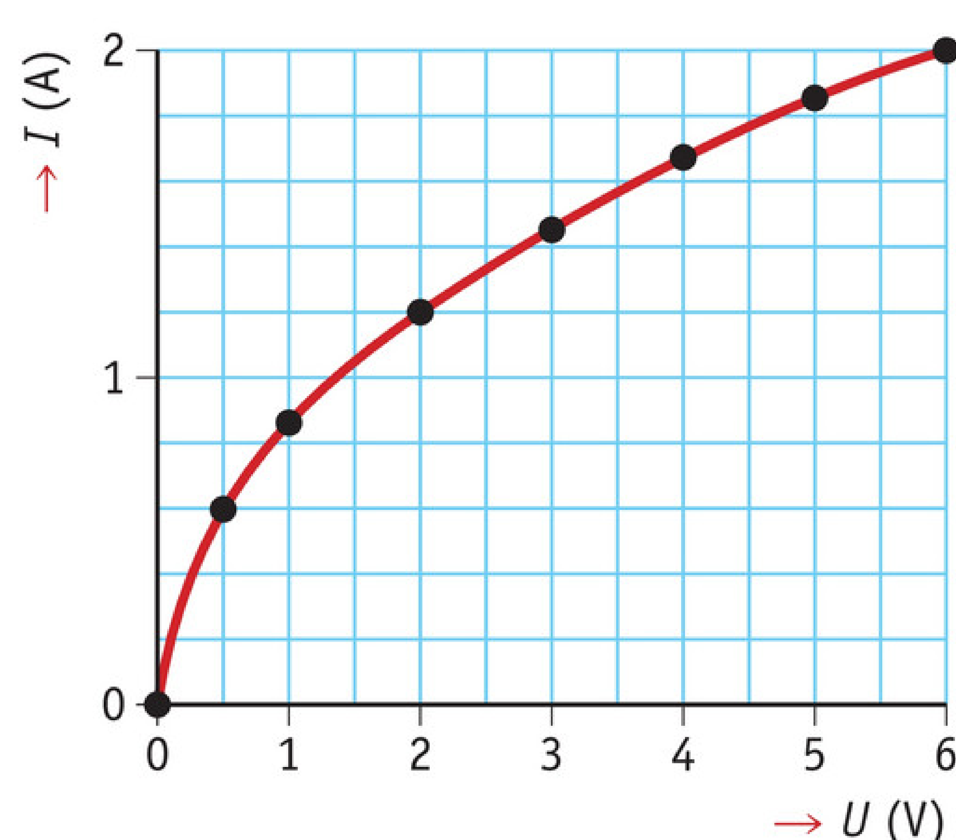
Deze regel wordt de **wet van Ohm** genoemd.

Uit de wet van Ohm volgt dat de weerstand van de draad een constante waarde heeft: als je de spanning U deelt door de stroomsterkte I, komt daar steeds hetzelfde getal uit. De weerstand R is dus bij elke waarde van de spanning even groot. Zo'n weerstand noem je een **ohmse weerstand**.

WEERSTAND EN TEMPERATUUR

PROEF 2

Als je deze proef herhaalt met een gloeilampje, krijg je een ander resultaat. Dat zie je in het (I,U)-diagram in figuur 4. De spanning en de stroomsterkte zijn nu niet recht evenredig: als de spanning 2× zo groot wordt, blijft de stroomsterkte daar duidelijk bij achter. De weerstand neemt dus toe. Dat zie je ook als je de weerstand elke keer uitrekent met de formule. In dit geval geldt de wet van Ohm dus niet.



figuur 4 Het (I,U)-diagram van een gloeilampje.

Dat de weerstand toeneemt, heeft te maken met de temperatuur. Als de spanning over de gloeidraad toeneemt, gaat het lampje steeds feller branden. De temperatuur van de gloeidraad stijgt daarbij sterk, tot wel 2500 °C. Bij zo'n hoge temperatuur neemt de weerstand van de gloeidraad flink toe.

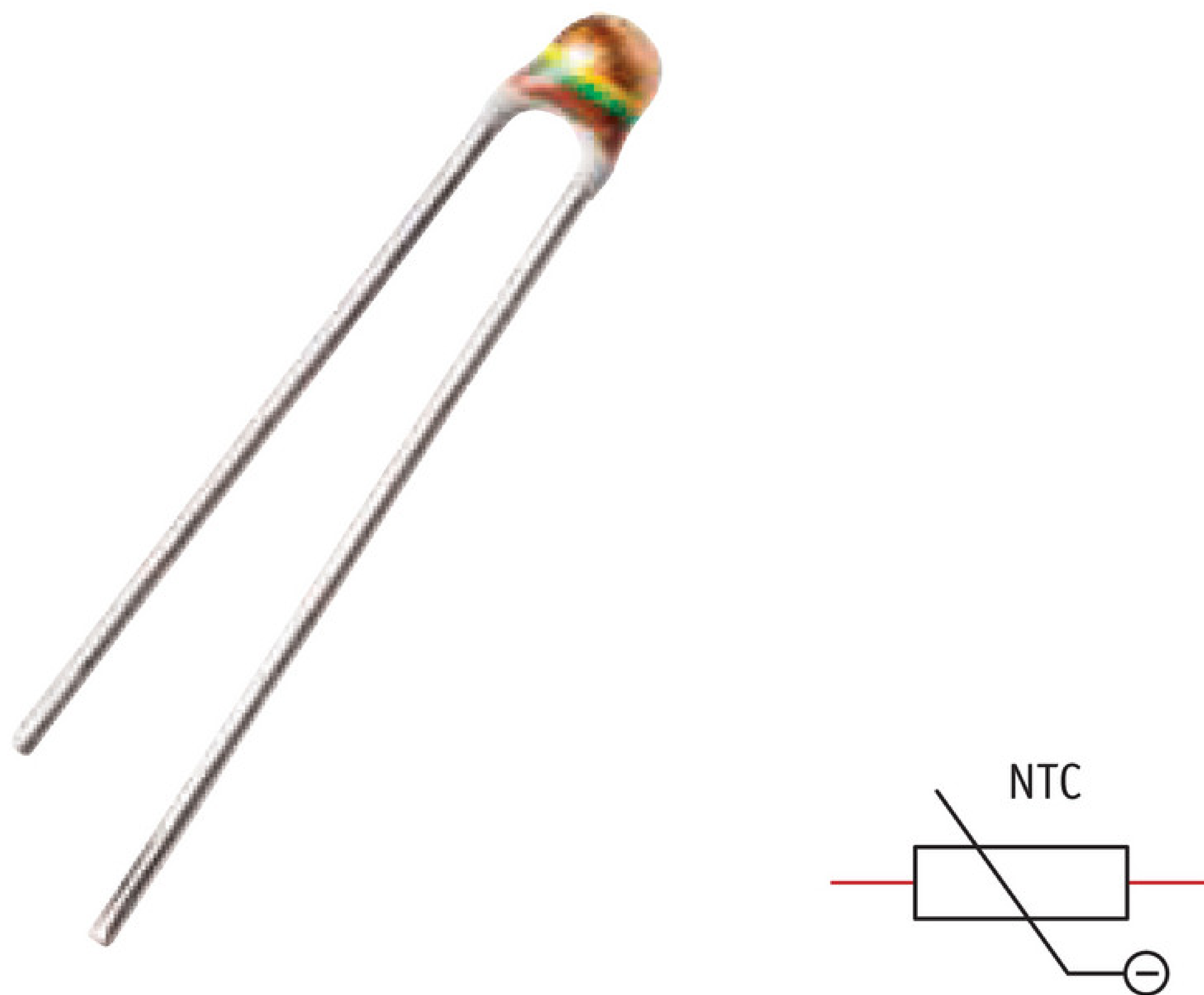
Bijna alle soorten draden krijgen een grotere weerstand als hun temperatuur stijgt. Draden van constantaan vormen een uitzondering: hun weerstand is constant, ook als ze heet worden. Toch kun je er ook bij andere draden vaak van uitgaan dat hun weerstand constant is. Zolang de temperatuurstijging niet al te groot is (zoals bij veel toepassingen), kun je de toename van de weerstand verwaarlozen.

VERANDERLIJKE WEERSTANDEN

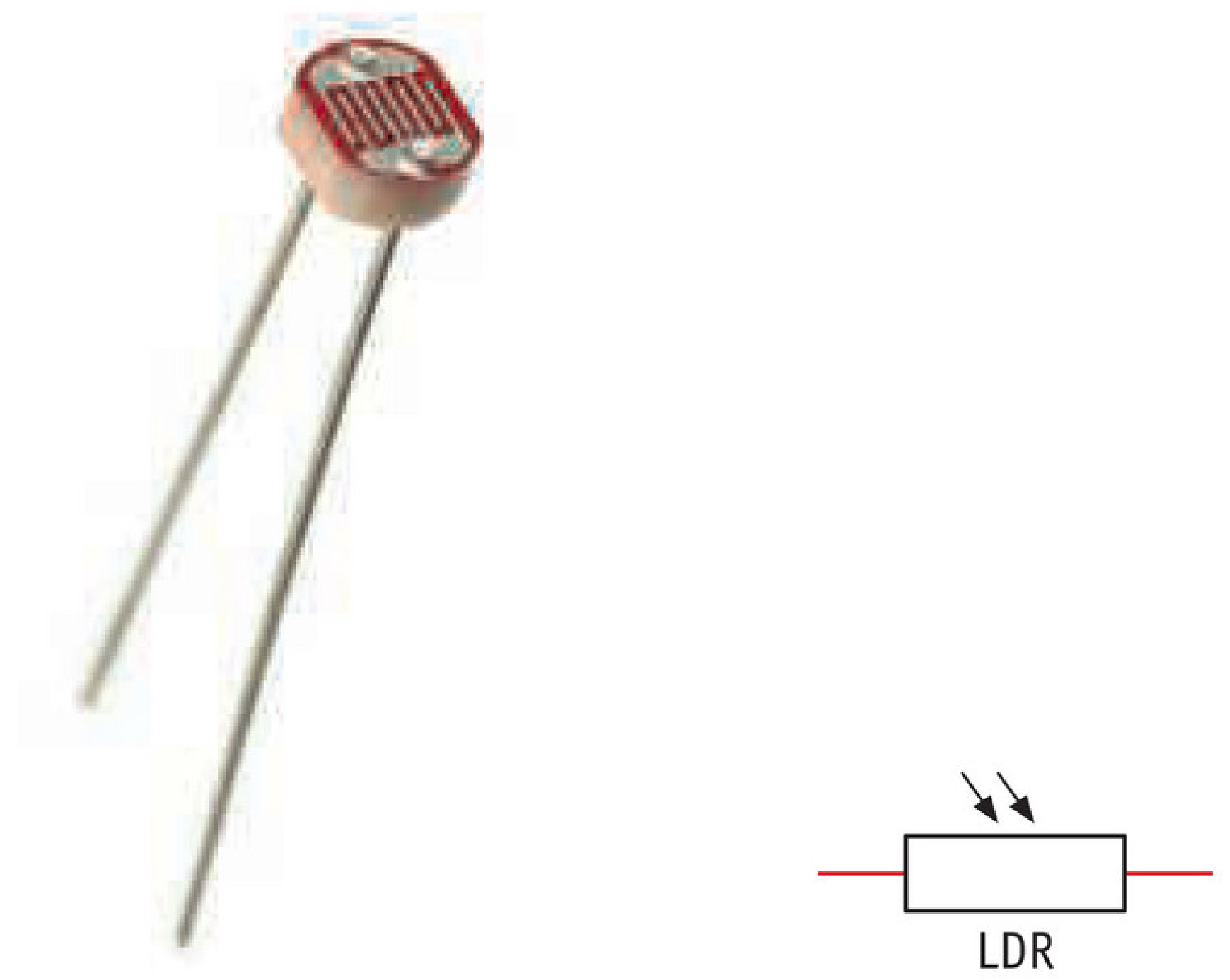
In schakelingen worden soms componenten gebruikt met een veranderlijke weerstand. Twee voorbeelden daarvan zijn de **NTC** en de **LDR**.

- Een NTC (figuur 5) is gevoelig voor veranderingen in temperatuur. Als de temperatuur van een NTC stijgt, daalt zijn weerstand. De NTC gaat dan beter geleiden en laat meer stroom door.
- Een LDR (figuur 6) is gevoelig voor veranderingen in de hoeveelheid licht. Als er meer licht op een LDR valt, daalt zijn weerstand. De LDR gaat dan beter geleiden en laat meer stroom door.

Deze variabele weerstanden worden veel gebruikt in automatische schakelingen: de NTC als temperatuursensor, de LDR als lichtsensor.



figuur 5 Een NTC met daarnaast het schakelsymbool.



figuur 6 Een LDR met daarnaast het schakelsymbool.

Een andere veelgebruikte component is de variabele weerstand. Die bestaat uit een lange opgerolde draad. Met een schuif kun je instellen welk deel van de draad in de stroomkring wordt opgenomen (figuur 7). Hoe korter je dit deel maakt, des te kleiner wordt de weerstand. Zo kun je de weerstand instellen op de waarde die jij nodig hebt.



figuur 7 Een schuifweerstand voor gebruik op school.

PLUS SOORTELIJKE WEERSTAND

De weerstand van een wolfraamdraad is, bij dezelfde temperatuur, niet gelijk aan die van een identieke ijzerdraad. Blijkbaar hangt de weerstand af van de soort stof. De bijbehorende stofeigenschap noem je de **soortelijke weerstand** (symbool ρ, tabel 1). Isolatoren hebben een grote soortelijke weerstand. Voor pvc is dat bijvoorbeeld 10^{12} Ω m (deze eenheid spreek je uit als 'ohm meter').

tabel 1 Soortelijke weerstand bij kamertemperatuur.

stof	soortelijke weerstand ρ ($\cdot 10^{-6}$ Ω m) bij 20 °C
aluminium	0,027
constantaan	0,45
goud	0,022
ijzer	0,105
koper	0,017
staal	0,18
wolfraam	0,055
zilver	0,016

Behalve van de temperatuur blijkt de weerstand van een draad af te hangen van de lengte, de doorsnede en het materiaal van de draad. Je kunt de weerstand van een draad berekenen met de volgende formule:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Hierin is:
- R de weerstand in ohm (Ω);
- ρ de soortelijke weerstand in ohm meter (Ω m);
- l de lengte in meter (m);
- A de oppervlakte van de doorsnede van de draad in vierkante meter (m^2).

VOORBEELDOPDRACHT 2

Voor elektriciteitsleidingen in huis wordt koperdraad gebruikt.
Bereken de weerstand van 10 m koperdraad met een diameter d van 1,6 mm.

gegevens $\rho = 0{,}017 \cdot 10^{-6}$ Ω m (tabel 1)
$l = 10$ m
$d = 1{,}6$ mm $= 1{,}6 \cdot 10^{-3}$ m

gevraagd $R = ?$

uitwerking $r = 0{,}5 \times d = 0{,}5 \times 1{,}6 \cdot 10^{-3} = 0{,}80 \cdot 10^{-3}$ m

$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0{,}80 \cdot 10^{-3})^2 = 2{,}01 \cdot 10^{-6}\ m^2$

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0{,}017 \cdot 10^{-6} \times 10}{2{,}01 \cdot 10^{-6}} = 0{,}085\ \Omega$$

Let op: rond niet tussentijds af tijdens de berekening van de waarde van A.


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Met welke formule kun je de weerstand van een schakelonderdeel berekenen?
b Wat is het bijzondere van een ohmse weerstand?
c Welke bijzondere eigenschap hebben draden die van constantaan zijn gemaakt?
d Waarom geldt de wet van Ohm niet voor de draad in een gloeilampje?
e Van welk schakelonderdeel daalt de weerstand als de temperatuur ervan stijgt?

2 Vul de ontbrekende gegevens in tabel 2 in.

tabel 2 Enkele grootheden en eenheden.

grootheid	symbool	eenheid	symbool
spanning			
	I		
		ohm	

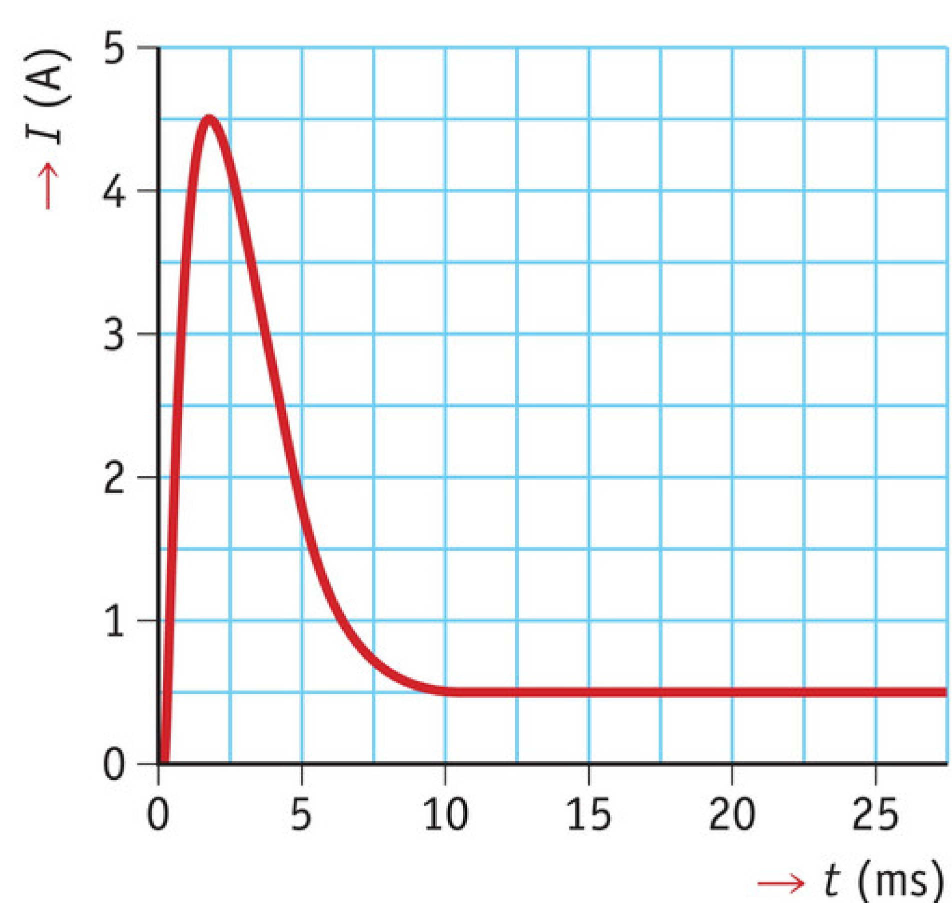
TOEPASSING

3 Een mixer, een lamp en een waterkoker zijn aangesloten op het lichtnet (230 V).

- Door de mixer loopt een stroom van 1,4 A.
- Door de lamp loopt een stroom van 48 mA.
- Door de waterkoker loopt een stroom van 9,6 A.

Bereken de weerstand van elk apparaat.

4 Bij een proef laat Peter een gloeilampje branden op een batterij (4,5 V). Om de stroom te meten, gebruikt hij een meetopstelling met een stroommeter en een computer. Na afloop van de proef laat hij de computer een grafiek tekenen van de eerste 25 ms na het inschakelen van de stroom (figuur 8).



figuur 8 De grafiek van de proef van Peter.

a Waaraan kun je zien dat de weerstand van de gloeidraad niet constant is?
b Bereken de weerstand van de gloeidraad als de stroomsterkte maximaal is.
c Hoe komt het dat de stroomsterkte daarna sterk afneemt?
d Na verloop van tijd bereikt de stroomsterkte een constante waarde.
Bereken hoe groot de weerstand van de gloeidraad dan is.

5 Mo heeft een constantaandraad van 6,0 Ω aangesloten op een voedingskastje. Hij meet een stroomsterkte van 0,25 A.

a Bereken welke spanning Mo heeft ingesteld op het voedingskastje.

b Mo draait aan de regelknop van het voedingskastje tot de stroommeter 0,75 A aangeeft.
Beredeneer hoe groot de spanning nu is.

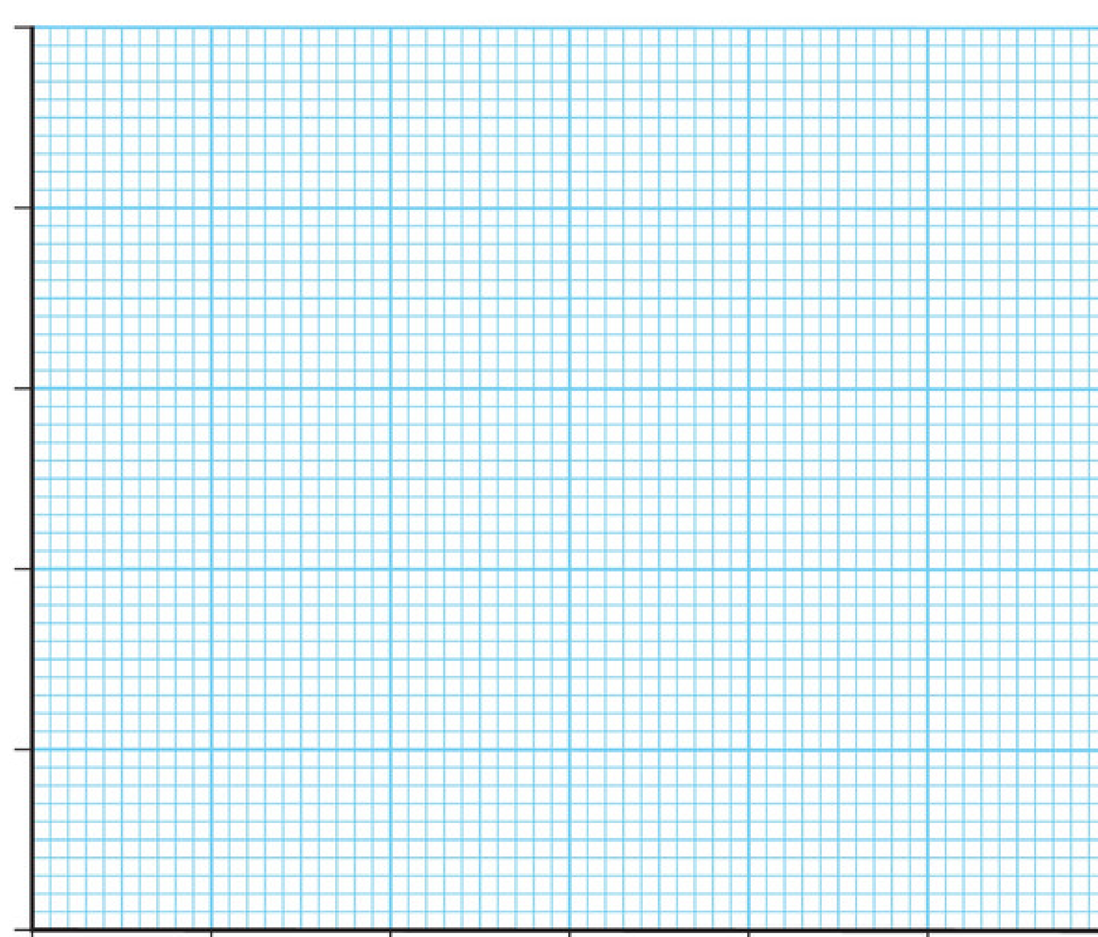
c Controleer je antwoord op opdracht b met een berekening.

6 Isha laat een gloeilampje branden bij verschillende spanningen. Elke keer meet ze de stroomsterkte. Haar meetresultaten staan in tabel 3.

a Teken in figuur 9 het bijbehorende (I,U)-diagram.

tabel 3 De meetresultaten van Isha.

spanning (V)	stroomsterkte (A)
2,0	0,18
4,0	0,26
6,0	0,32
8,0	0,37
10,0	0,41
12,0	0,44



figuur 9 De grafiek van de meetresultaten van Isha.

b De weerstand van het lampje verandert als het lampje feller gaat branden.
Hoe kun je dat aan de grafiek zien?

c Leg aan de hand van het verloop van de grafiek uit of de weerstand bij feller branden toeneemt of afneemt.

d Bepaal de weerstand van het lampje bij een spanning van 7,0 V.

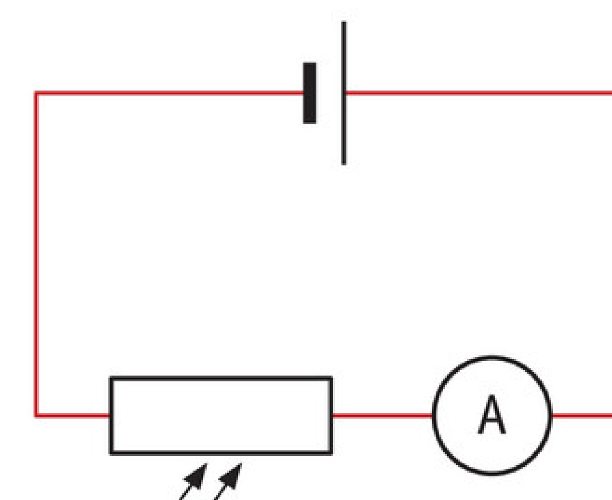
e Leg aan de hand van de grafiek uit of voor dit lampje de wet van Ohm geldt.

7 Tijdens een practicum bouwt Rik een eenvoudige lichtsterktemeter (figuur 10). De batterij van de meter levert een spanning van 3,0 V.

a Als Rik de LDR in de felle zon houdt, is de stroomsterkte 0,22 A.
Bereken hoe groot de weerstand van de LDR dan is.

b Zes uur later is de stroomsterkte nog maar 0,10 mA.
Bereken hoe groot de weerstand van de LDR dan is.

c Hoe kan de weerstand van de LDR in zes uur zoveel groter zijn geworden?

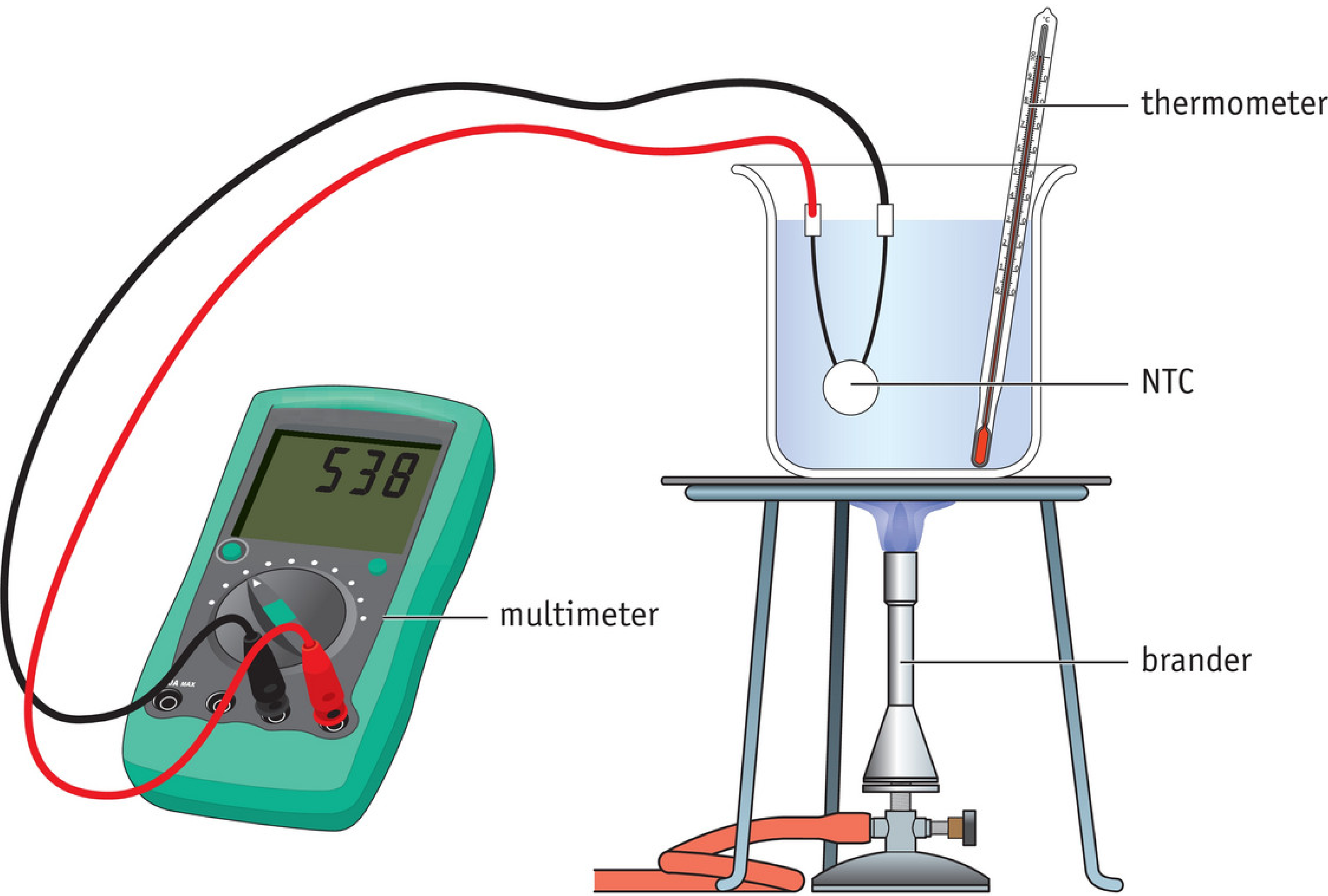


figuur 10 Het schakelschema van Riks lichtsterktemeter.

8 Joanne voert de proef uit die in figuur 11 is getekend. Op de thermometer leest ze de temperatuur van het water af. Met de multimeter meet ze de weerstand van de NTC. In tabel 4 zie je haar meetresultaten.

a Teken in het diagram van figuur 12 de grafiek van Joannes meetresultaten.

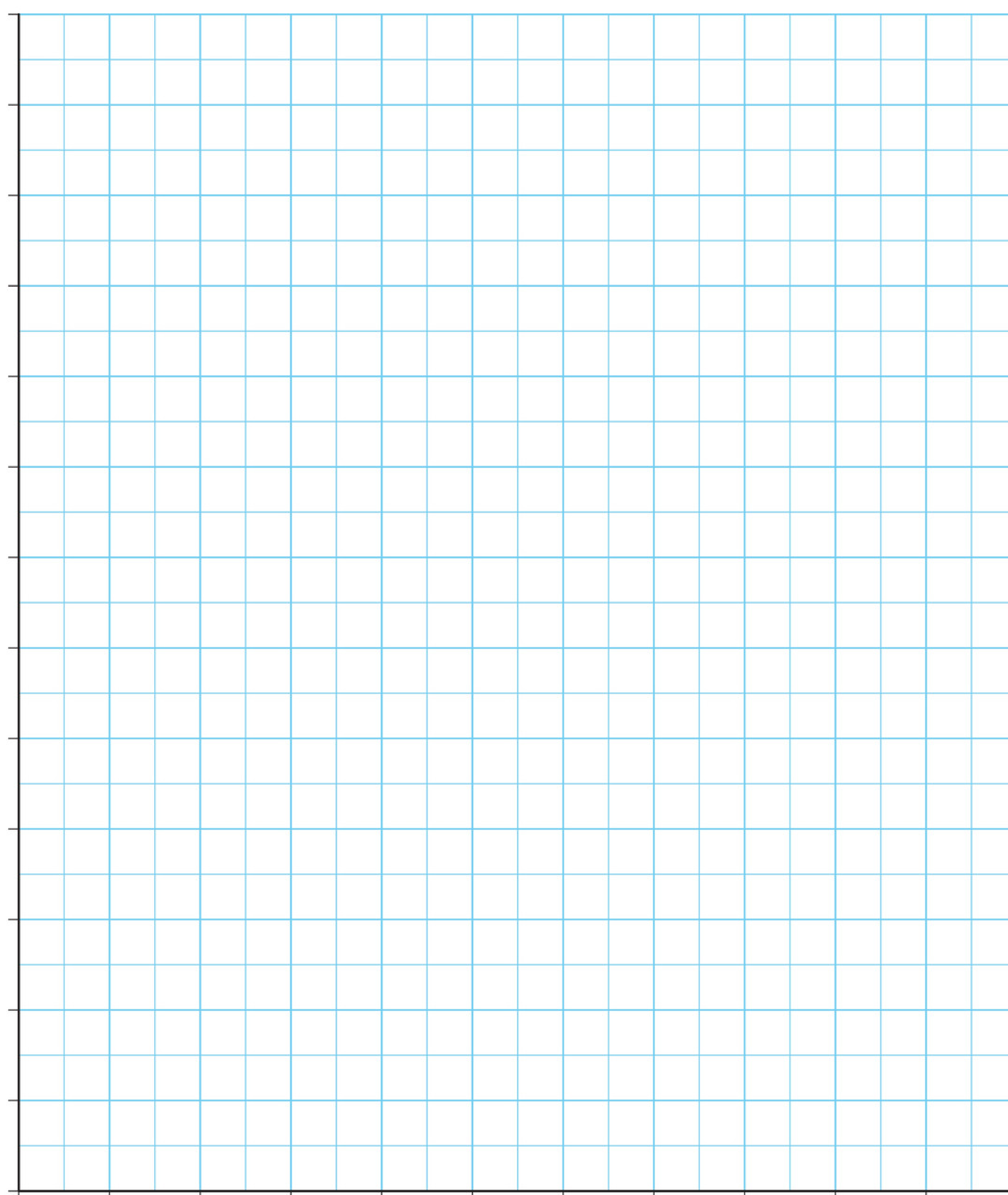
b Lees uit deze grafiek af hoe hoog de temperatuur is:
- als de multimeter 600 Ω aangeeft;
- als de multimeter 150 Ω aangeeft;
- als de multimeter 80 Ω aangeeft.



figuur 11 De proefopstelling van Joanne.

tabel 4 De meetresultaten van Joanne.

temperatuur (°C)	weerstand (Ω)
20	1249
30	785
40	511
50	341
60	255
70	176
80	129
90	96
100	72



figuur 12 De grafiek van de meetresultaten van Joanne.

★ 9 Caro heeft een weerstand nodig van 28 Ω. Op een website zoekt ze op hoe ze zelf zo'n weerstand kan maken (figuur 13).

a Hoeveel meter draad moet Caro afmeten:
- als ze weerstandsdraad van 2,5 Ω/m gebruikt?
- als ze weerstandsdraad van 63 Ω/m gebruikt?

b Caro is van plan om de draad voor haar weerstand om een balpen te wikkelen. Leg uit welke soort draad ze dan het beste kan gebruiken: van 2,5 Ω/m, of van 63 Ω/m?

c Bernard heeft een weerstand van 112 Ω gemaakt door 4,0 meter weerstandsdraad om een deodorantflesje te wikkelen. Bereken de weerstand per meter van de draad die hij heeft gebruikt.

Weerstandsdraad

Als je een weerstand met een bepaalde waarde nodig hebt, kun je kijken of die los te koop is. Je kunt ook zelf een weerstand maken. Daarvoor is speciaal weerstandsdraad te koop.
Er is bijvoorbeeld weerstandsdraad in de handel van 2,5 ohm per meter (Ω/m). Dat wil zeggen dat één meter van deze draad een weerstand heeft van 2,5 Ω. Twee meter van deze draad heeft een weerstand van 2 × 2,5 = 5,0 Ω, drie meter een weerstand van 3 × 2,5 = 7,5 Ω, enzovoort.
Om een weerstand met een bepaalde waarde te maken, moet je de juiste lengte van de draad afknippen. Daarna wikkel je de draad in een spiraal om een staafje.



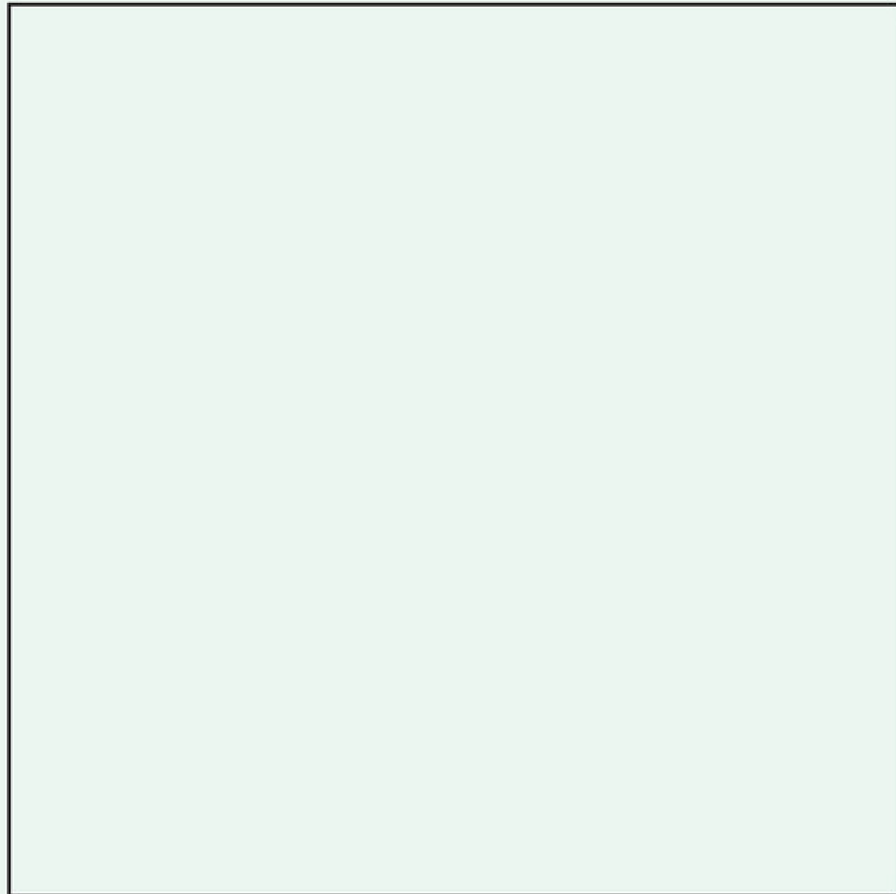
figuur 13 Zelf weerstanden maken.

 **Test je kennis met de *Test jezelf*.**

PLUS SOORTELIJKE WEERSTAND

10 Lili wil de soortelijke weerstand van ijzer bepalen. Ze besluit dat te doen door de weerstand van een stuk ijzerdraad te bepalen met behulp van een spanningsmeter en een stroommeter.

a Teken de schakeling die Lili gebruikt.



b Ze meet een stroomsterkte van 0,14 A bij een spanning van 0,50 V.
Bereken de weerstand van de draad.

c De draad is 100 cm lang en heeft een diameter van 0,20 mm.
Bereken de soortelijke weerstand van ijzer.

d Vergelijk het antwoord van opdracht c met het gegeven in tabel 1 en geef een verklaring voor het verschil.

★ 11 Erwin heeft een klosje koperdraad. Hij wil weten hoeveel meter draad er nog op het klosje zit. Hij heeft geen zin om de draad van het klosje af te rollen en na te meten. Daarom bepaalt hij de lengte door de weerstand te meten. Op het klosje staat dat de draad een diameter heeft van 0,25 mm.

a Bereken de doorsnede van de draad.

b Erwin meet een weerstand van 1,2 Ω.
Bereken de lengte van de draad.

c Leg uit waarom Erwin zijn metingen meteen na het aansluiten van de spanning moet doen.

12 Een leerling wil de verhouding van de weerstanden van twee draden A en B bepalen. De draden zijn van hetzelfde materiaal gemaakt.
Draad A heeft een lengte van 1,0 m en een diameter van 0,2 mm; noem de weerstand van deze draad R_A.
Draad B heeft een lengte van 0,5 m en een diameter van 0,4 mm; noem de weerstand van deze draad R_B.
Welke van de volgende uitspraken is juist?

○ A $R_A = 8 \cdot R_B$
○ B $R_A = 4 \cdot R_B$
○ C $R_A = 2 \cdot R_B$
○ D $R_A = R_B$

Naar: IJSO

3 Weerstanden schakelen

LEERDOELEN

5.3.1 Je kunt het verschil uitleggen tussen de component weerstand en de grootheid weerstand.

5.3.2 Je kunt de vervangingsweerstand van de weerstanden in een serieschakeling berekenen.

5.3.3 Je kunt de spanning U_1, U_2, U_3 ... over elke weerstand in een serieschakeling berekenen.

5.3.4 Je kunt de vervangingsweerstand van de weerstanden in een parallelschakeling berekenen.

5.3.5 Je kunt de stroomsterkte I_1, I_2, I_3 ... door elke weerstand in een parallelschakeling berekenen.

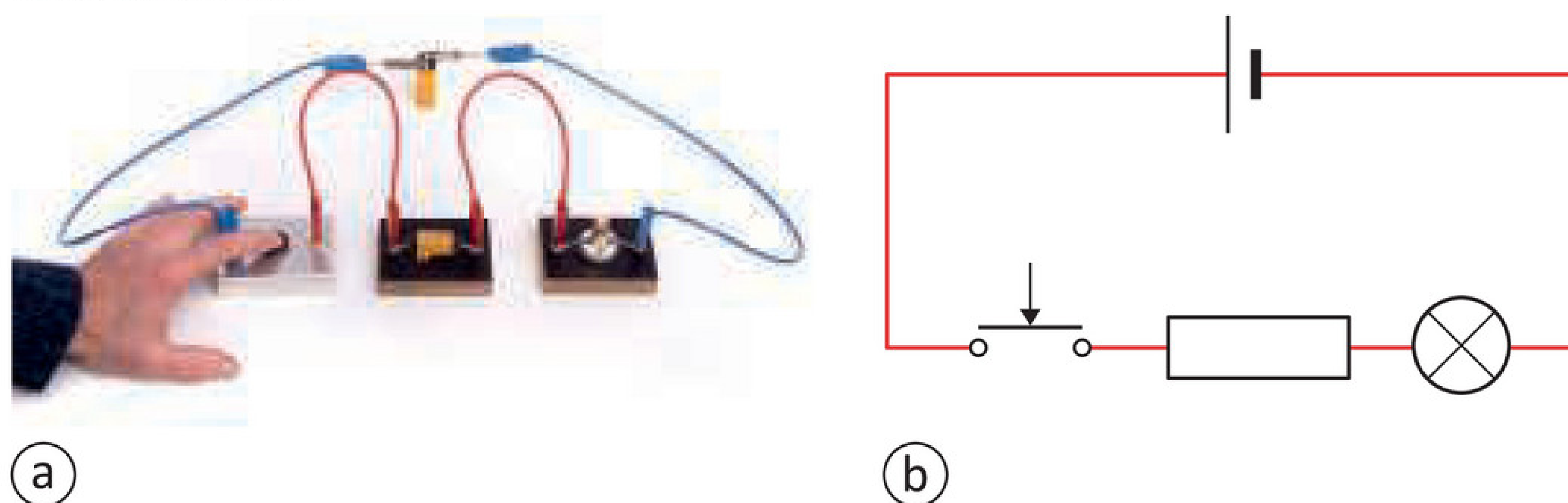
PLUS 5.3.6 Je kunt de werking van een PTC en NTC in schakelingen uitleggen en toelichten met berekeningen.

In mobiele telefoons en laptops kom je ingewikkelde schakelingen tegen, met honderden componenten. Een ontwerper van zo'n schakeling kijkt altijd zorgvuldig naar de stroomsterkte door die componenten en voegt zo nodig een of meer extra weerstanden toe. De stroomsterkte kan anders te groot worden, waardoor componenten door oververhitting kapot kunnen gaan.

WERKEN MET WEERSTANDEN

Als je een 6 V-lampje aansluit op een spanning van 9 V wordt de stroomsterkte te groot en brandt het lampje door. Je kunt dat vermijden door de totale weerstand van de schakeling groter te maken. Daarvoor plaats je een weerstand in serie met het lampje (figuur 1a). In een schakelschema teken je een component met een constante weerstand als een rechthoekje (figuur 1b).

figuur 1 De weerstand voorkomt dat het lampje doorbrandt: (a) de opstelling en (b) het schakelschema.



Let op: het woord 'weerstand' heeft dus twee betekenissen. Het verwijst naar een voorwerp (een component in een schakeling), maar ook naar een grootheid (het aantal ohm). Je ziet dat terug in de volgende zin: "Deze weerstand heeft een weerstand van 6 Ω."

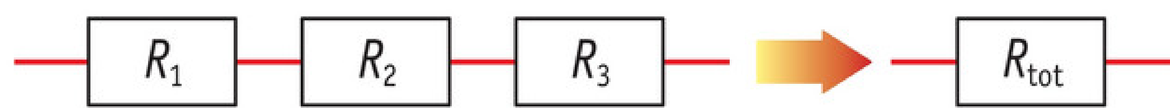
WEERSTANDEN IN SERIE

PROEF 3

Als je steeds meer weerstanden in serie schakelt, krijgt de schakeling in haar geheel een steeds grotere weerstand. Bij een gelijkblijvende spanning zal de stroomsterkte steeds verder afnemen. Je kunt de totale weerstand R_{tot} berekenen door de afzonderlijke weerstanden bij elkaar op te tellen (figuur 2):

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + ...$$

Hierin is:
- R_{tot} de totale weerstand in ohm (Ω);
- R_1, R_2, R_3 de weerstand van het eerste, tweede en derde schakelonderdeel in ohm (Ω).



figuur 2 Weerstanden in serie tel je op.

Als je de afzonderlijke weerstanden vervangt door één weerstand met de waarde van R_{tot}, verandert er in de rest van de schakeling niets. Daarom noem je de totale weerstand ook wel de **vervangingsweerstand.**

STROOMSTERKTE EN SPANNING IN EEN SERIESCHAKELING

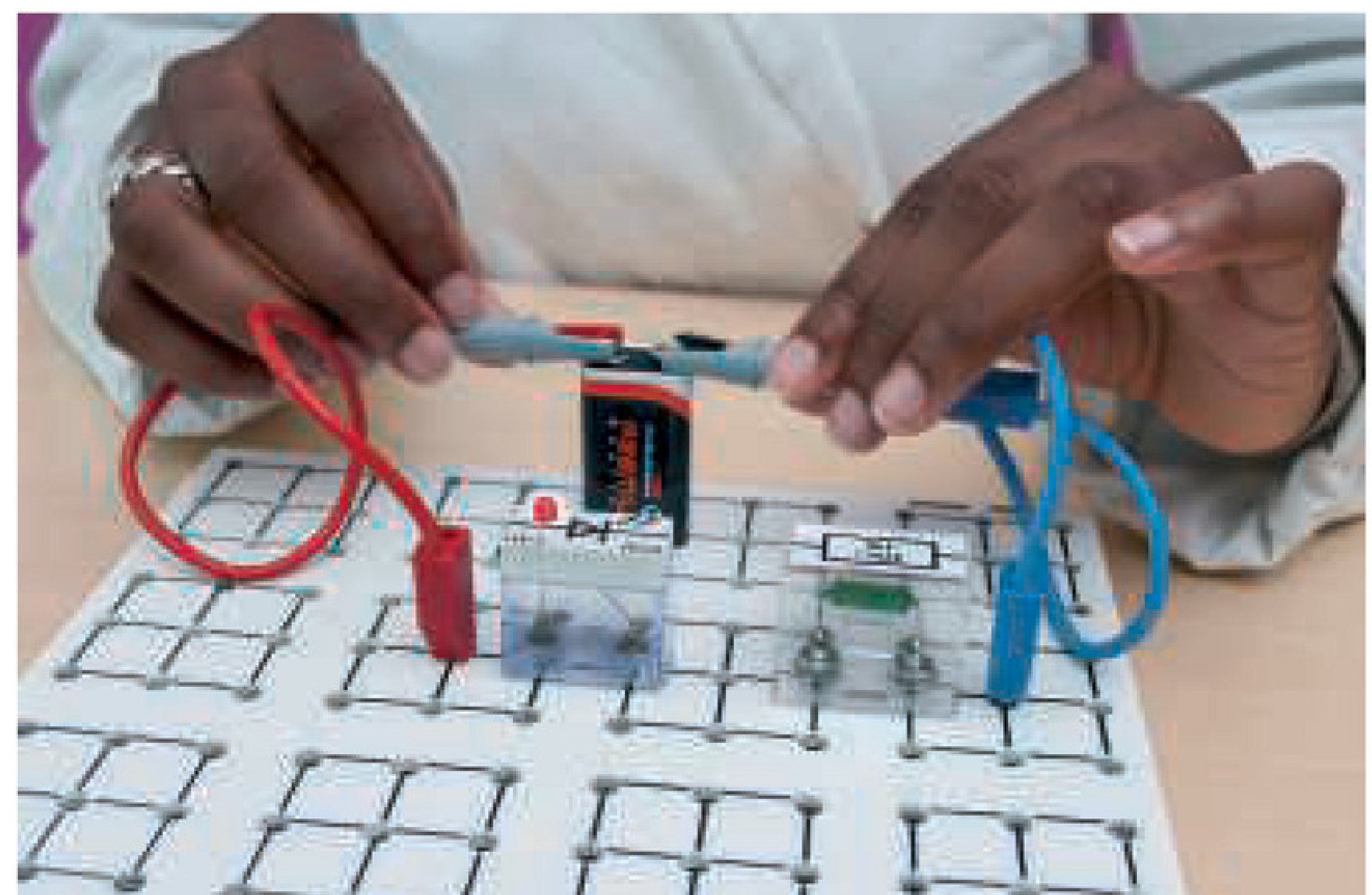
De stroomsterkte I is in een serieschakeling overal even groot. Er zijn geen vertakkingen waarover de stroom zich moet verdelen. De spanning verdeelt zich in een serieschakeling over de verschillende componenten. Als je twee identieke lampjes in serie schakelt en aansluit op een batterij van 9,0 V, brandt elk lampje op 4,5 V: ze krijgen elk de helft van de bronspanning.

Als de twee lampjes een verschillende weerstand hebben, wordt de bronspanning U_{tot} niet precies in tweeën verdeeld. Over lampje 1 staat dan een spanning $U_1 = I \cdot R_1$ en over lampje 2 een spanning $U_2 = I \cdot R_2$. Bij elkaar opgeteld zijn U_1 en U_2 gelijk aan de bronspanning:

$$U_{tot} = U_1 + U_2 + ...$$

Hierin is:
- U_{tot} de spanning over de totale schakeling in volt (V);
- U_1, U_2 de spanning over het eerste en tweede schakelonderdeel in volt (V).

Vaak worden weerstanden gebruikt om andere componenten op de juiste spanning te laten werken. In figuur 3 zie je een voorbeeld. Omdat de spanning van de batterij te hoog is voor het ledlampje, wordt het in serie geschakeld met een weerstand. Een deel van de spanning komt daardoor over de weerstand te staan. De overblijvende spanning is precies hoog genoeg om het ledlampje goed te laten branden.



figuur 3 Een ledlampje wordt in serie geschakeld met een voorschakelweerstand.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Het ledlampje in figuur 3 brandt optimaal op een spanning van 2,0 V. Door het lampje loopt dan een stroom van 20 mA. De batterij levert een spanning van 9,0 V.
Bereken hoe groot de waarde van de weerstand R_2 moet zijn om het lampje op de juiste spanning te laten branden.

gegevens $U_1 = 2{,}0$ V
$U_{tot} = 9{,}0$ V
$I = 20$ mA $= 0{,}020$ A

gevraagd $R_2 = ?$

uitwerking $U_{tot} = U_1 + U_2$
$9{,}0 = 2{,}0 + U_2$
$U_2 = 7{,}0$ V
$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{7{,}0}{0{,}020} = 3{,}5 \cdot 10^2\ \Omega$$

WEERSTANDEN PARALLEL

PROEF 4

Als je steeds meer weerstanden parallel aansluit, wordt de totale weerstand van de schakeling niet groter zoals bij een serieschakeling, maar juist kleiner. Doordat het aantal vertakkingen toeneemt, kan de stroom gemakkelijker rondlopen. Bij een gelijkblijvende spanning neemt de stroomsterkte dus steeds verder toe.

Je kunt apparaten daarom niet onbeperkt parallel schakelen. De aan- en afvoerleidingen kunnen anders al snel overbelast raken. Om overbelasting te voorkomen, wordt een elektrische installatie verdeeld in groepen met elk een beperkt aantal apparaten. Dat geldt voor de huisinstallatie, maar ook voor de lichtinstallatie tijdens een groot concert (figuur 4).



figuur 4 Een lichtinstallatie is, net als een huisinstallatie, verdeeld in groepen.

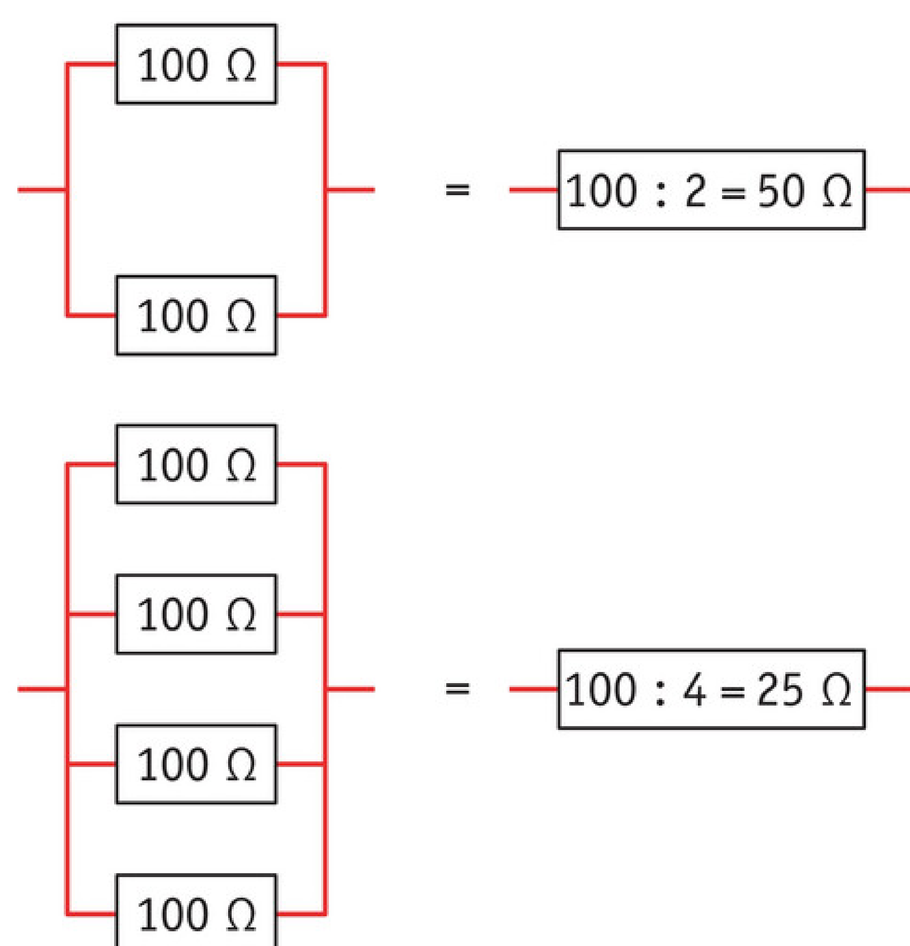
Je kunt de totale weerstand R_{tot} van een parallelschakeling (figuur 5) berekenen met de formule:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$$

Hierin is:

- R_{tot} de totale weerstand in ohm (Ω);
- R_1, R_2, R_3 de weerstand van de eerste, tweede en derde component in ohm (Ω).

Uit deze formule volgt dat de totale weerstand (ook wel vervangingsweerstand genoemd) altijd kleiner is dan de afzonderlijke weerstanden R_1, R_2, enzovoort.



figuur 5 De vervangingsweerstand wordt kleiner als je meer weerstanden parallel zet.

VOORBEELDOPDRACHT 2

Esther schakelt een weerstand van 55 Ω parallel aan een weerstand van 145 Ω. Bereken de vervangingsweerstand.

gegevens $R_1 = 55\ \Omega$
$R_2 = 145\ \Omega$

gevraagd $R_{tot} = ?$

uitwerking $\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{55} + \frac{1}{145} = 0{,}025$

$R_{tot} = \frac{1}{0{,}025} = 40\ \Omega$

STROOMSTERKTE EN SPANNING IN EEN PARALLELSCHAKELING

In een parallelschakeling is elke component rechtstreeks met de spanningsbron verbonden. Over elke component staat dus de volledige bronspanning U_{tot}. Voor de spanning geldt:

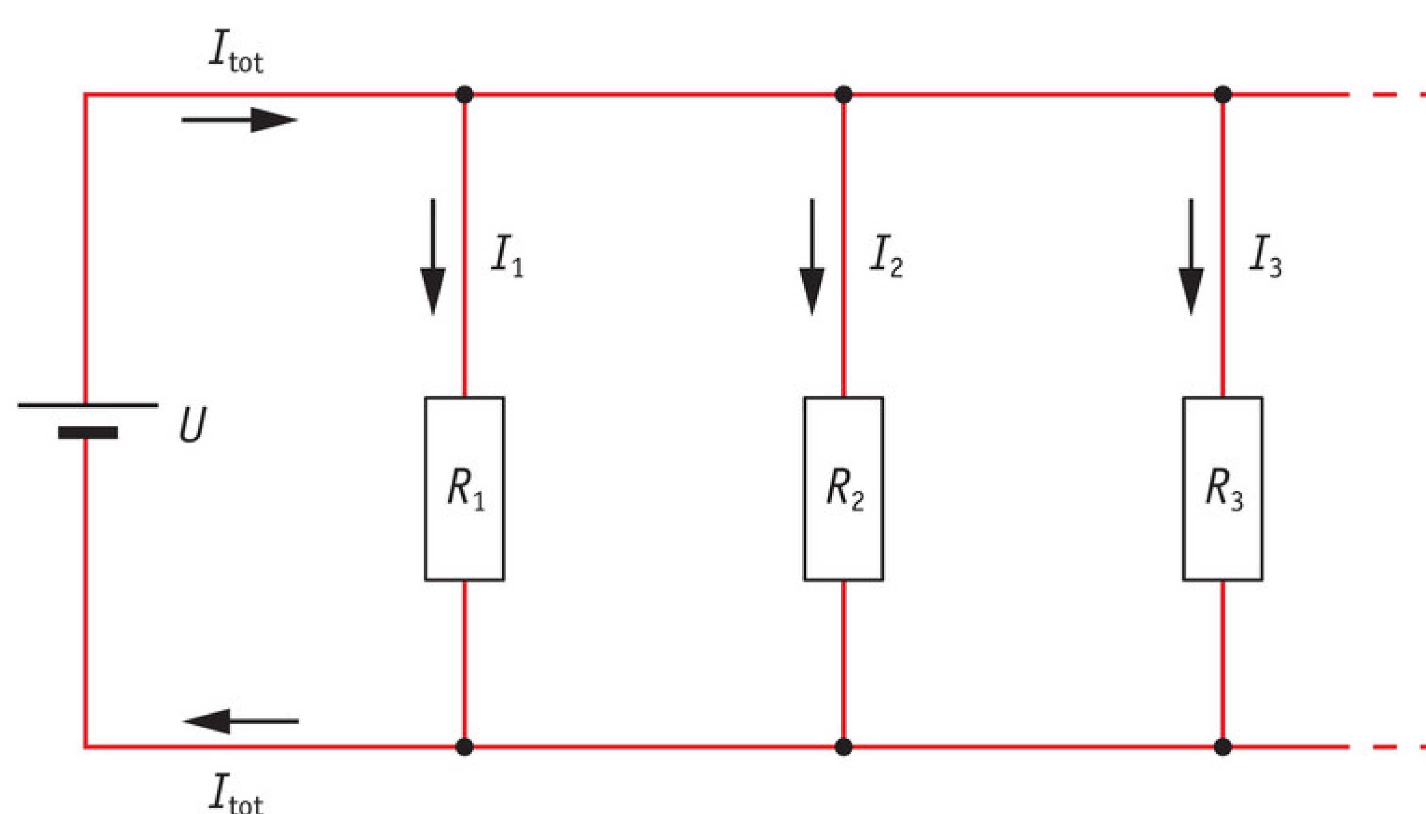
$$U_{tot} = U_1 = U_2 = U_3 = ...$$

De stroom verdeelt zich bij een parallelschakeling over de verschillende vertakkingen (figuur 6). De **totale stroomsterkte** is de stroomsterkte in het niet-vertakte gedeelte: de aan- en afvoerleidingen waar alle stroom doorheen gaat. Je kunt de totale stroomsterkte berekenen met de formule:

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + ...$$

Hierin is:

- I_{tot} de totale stroomsterkte in het niet-vertakte gedeelte in ampère (A);
- I_1, I_2, I_3 de stroomsterkte door de eerste, tweede en derde vertakking in ampère (A).



figuur 6 Bij een parallelschakeling verdeelt de stroom zich.

In het niet-vertakte gedeelte bestaat risico op overbelasting als er te veel schakelonderdelen tegelijk worden aangesloten.

VOORBEELDOPDRACHT 3

Bereken de totale stroomsterkte in de schakeling uit voorbeeldopdracht 2 als je de weerstanden aansluit op een spanningsbron van 9,0 V.

gegevens $R_1 = 55\ \Omega$
$R_2 = 145\ \Omega$
$U = 9{,}0$ V

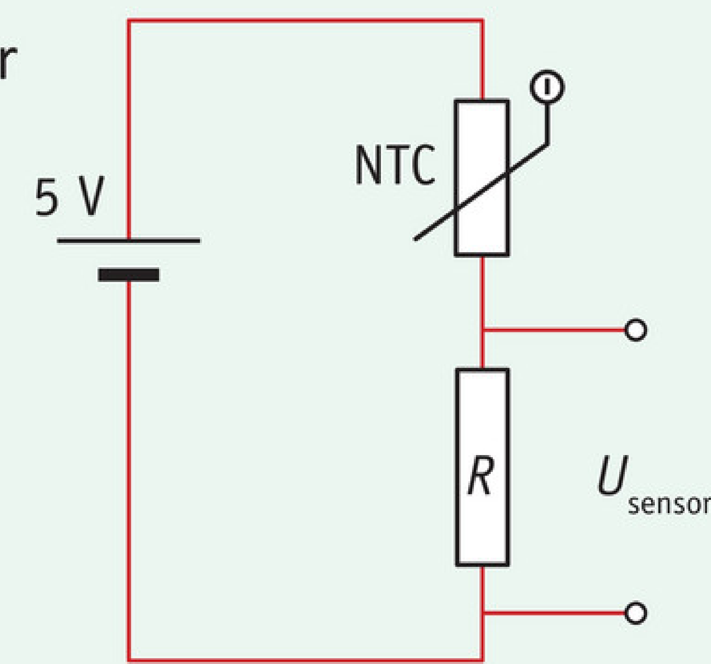
gevraagd $I_{tot} = ...$

uitwerking
$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{9{,}0}{55} = 0{,}164 \text{ A}$$
$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{9{,}0}{145} = 0{,}0621 \text{ A}$$
$$I_{tot} = I_1 + I_2 = 0{,}164 + 0{,}0621$$
$$I_{tot} = 0{,}23 \text{ A}$$

Je krijgt dezelfde uitkomst als je de bronspanning deelt door de totale weerstand:

$$I_{tot} = \frac{U}{R_{tot}} = \frac{9{,}0}{40} = 0{,}23 \text{ A}$$

PLUS DE PTC EN NTC IN SCHAKELINGEN



figuur 7 Een temperatuursensor met een NTC.

Een PTC werkt tegengesteld aan een NTC. Als de temperatuur van een PTC stijgt, stijgt ook zijn weerstand. PTC's en de NTC's zijn gevoelig voor veranderingen in temperatuur. Daarom worden ze veel toegepast in schakelingen. Veel apparaten werken bijvoorbeeld het best bij een normale omgevingstemperatuur. Wordt de temperatuur van bijvoorbeeld een lcd-display op een smartphone te laag, dan wordt het contrast kleiner. Door een NTC in de schakeling op te nemen wordt de spanning over de chip die het scherm aanstuurt verhoogd, zodat het contrast weer toeneemt.

Een andere toepassing van deze weerstanden vind je in temperatuursensoren: een schakeling die een spanning afgeeft die afhankelijk is van de temperatuur. Zo gaat er een lampje branden op de frituurpan als de olie de juiste temperatuur heeft bereikt; zo kun je een verwarming automatisch inschakelen als het te koud wordt, en koelelementen in een vriezer inschakelen als het te warm wordt.

In figuur 7 zie je een voorbeeld van een temperatuursensor waarin een NTC en een vaste weerstand *R* worden gebruikt. Als de temperatuur stijgt, neemt de spanning over de vaste weerstand toe. Deze spanning kun je dan bijvoorbeeld overbrengen naar een andere schakeling om een waarschuwingslampje in te schakelen.

PTC's worden veel gebruikt om componenten te beschermen tegen te grote stroomsterkten. Wordt een component te heet door een te grote stroom, dan zorgt de stijgende weerstand van de PTC voor een begrenzing van de stroomsterkte.


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

- **a** Hoe kun je een lampje dat ontworpen is voor een spanning van 6 V toch veilig aansluiten op een batterij van 9 V?
- **b** Hoe verandert de totale weerstand van een serieschakeling als je het aantal weerstanden steeds groter maakt?
- **c** Waarom wordt de totale weerstand van een aantal weerstanden ook wel 'de vervangingsweerstand' genoemd?
- **d** Met welke formule kun je de vervangingsweerstand berekenen van drie parallel geschakelde weerstanden?

2 Onderstreep de juiste schakeling.

a In een *parallelschakeling* / *serieschakeling* is de stroomsterkte overal even groot.

b In een *parallelschakeling* / *serieschakeling* splitst de stroom zich bij elke vertakking.

c In een *parallelschakeling* / *serieschakeling* staat de volledige bronspanning over elk schakelonderdeel.

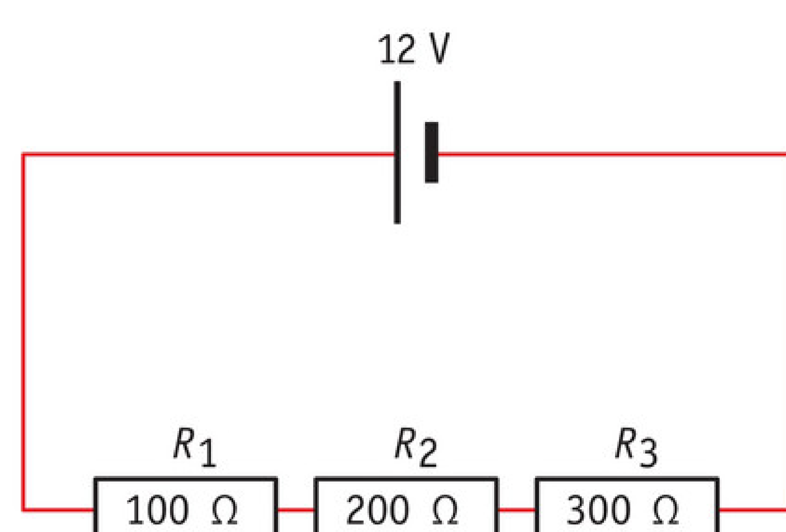
d In een *parallelschakeling* / *serieschakeling* verdeelt de spanning zich over de diverse schakelonderdelen.

TOEPASSING

3 Bekijk de serieschakeling die in figuur 8 is getekend.

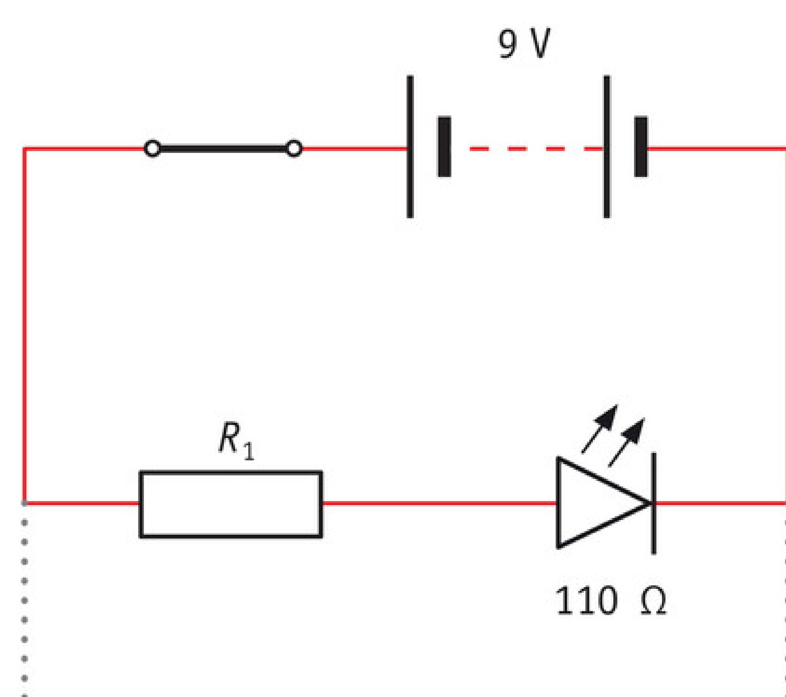
a Bereken de totale weerstand.

b Bereken de stroomsterkte.



figuur 8 Een serieschakeling.

★ 4 Een zendermicrofoon werkt op een batterij van 9,0 V. Als je de spanning inschakelt, gaat er een led branden (figuur 9). Er wordt een voorschakelweerstand R_1 gebruikt om de led op de juiste spanning van 2,0 V te laten branden. De stroomsterkte door de led is dan 18 mA.
Bereken de waarde van weerstand R_1.



figuur 9 Een led met een voorschakelweerstand.

5 De accu van een scooter levert 6,0 V. De koplamp (R_1 = 20 Ω) en het achterlicht (R_2 = 120 Ω) zijn parallel geschakeld.

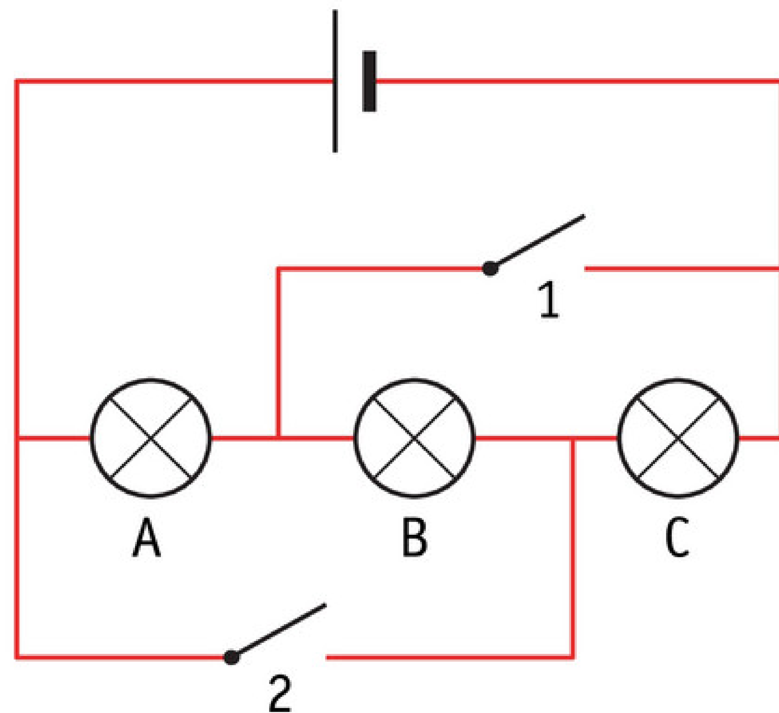
a Bereken de vervangingsweerstand.

b Bereken de totale stroomsterkte.

★ 6

In de schakeling van figuur 10 zijn drie gelijke lampjes opgenomen. Als alleen schakelaar 1 gesloten is, brandt lampje A op normale sterkte.
Zijn er andere lampjes die op normale sterkte branden als ook schakelaar 2 wordt gesloten? Licht je antwoord toe.

Naar: IJSO



figuur 10 Een schakeling met drie lampjes.

7

In een kookplaat van een elektrisch fornuis zitten twee verwarmingselementen, R_1 en R_2. R_1 heeft een weerstand van 65 Ω, R_2 heeft een weerstand van 35 Ω. De kookplaat is aangesloten op het lichtnet (230 V).
Bereken de totale stroomsterkte door de kookplaat:

a wanneer alleen R_1 is ingeschakeld.
b wanneer alleen R_2 is ingeschakeld.
c wanneer R_1 en R_2 beide zijn ingeschakeld en in serie zijn geschakeld.
d wanneer R_1 en R_2 beide zijn ingeschakeld en parallel zijn geschakeld.

★ 8

Beredeneer (dus zonder getallen te gebruiken) dat de vervangingsweerstand bij parallel geschakelde weerstanden altijd kleiner is dan de kleinste van de gebruikte weerstanden.

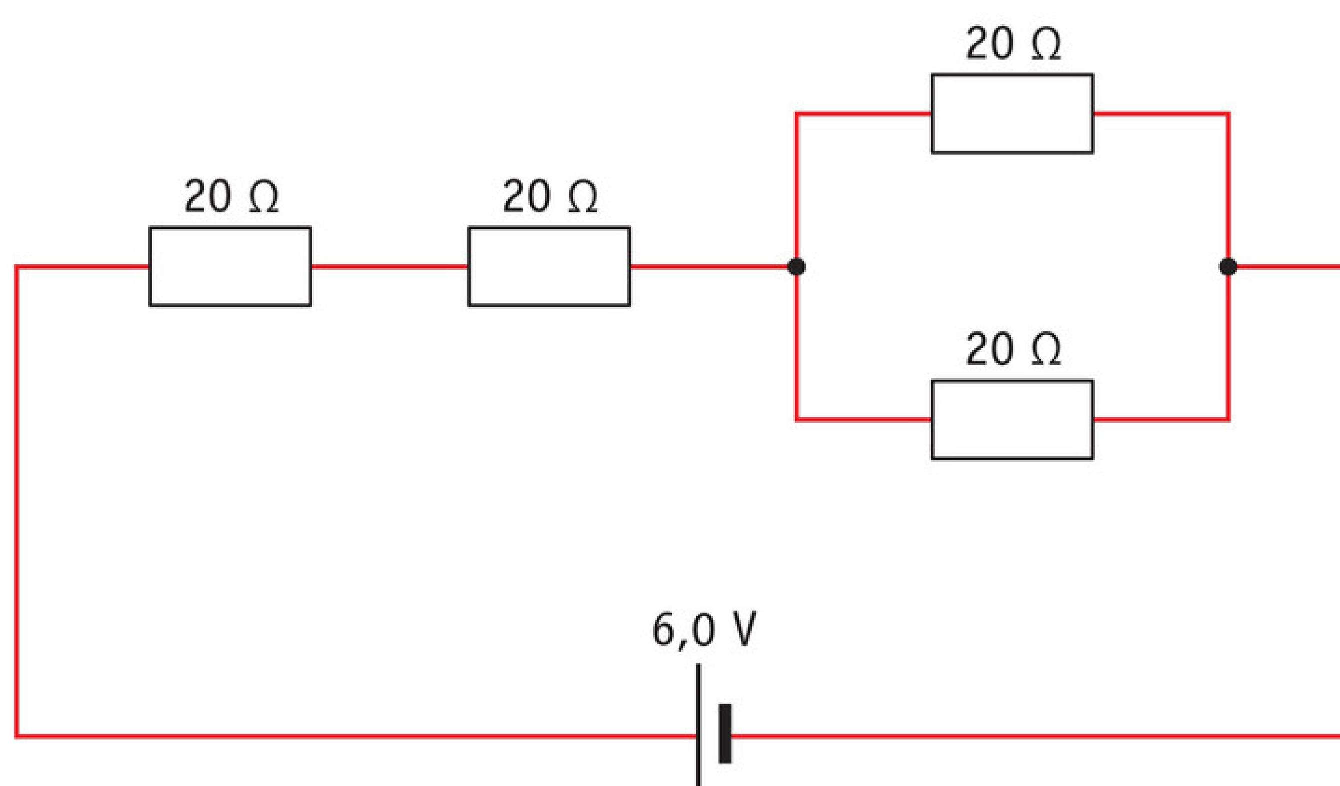
9

Een weerstand van 60 Ω, een van 40 Ω en een onbekende weerstand R_3 worden parallel geschakeld. De totale weerstand van deze schakeling is 15 Ω.
Bereken de waarde van R_3.

★ 10

Alisha heeft vier identieke weerstanden van 20 Ω. Ze maakt daarmee de combinatie van figuur 11 en sluit deze aan op een spanning van 6,0 V.

a Bereken de totale stroomsterkte.
b Bereken de grootste en de kleinste totale weerstand die je met deze vier weerstanden kunt maken.

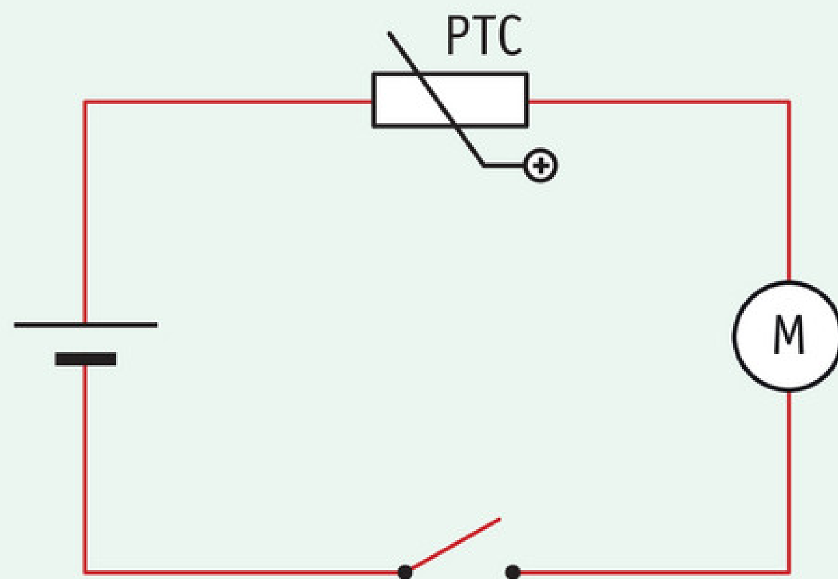


figuur 11 De weerstandscombinatie van Alisha.

 Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS DE PTC EN NTC IN SCHAKELINGEN

11 Een elektromotor in een ventilator kan snel stukgaan als je de ventilator per ongeluk blokkeert. Op dat moment kan er een te grote stroom door de motor gaan lopen. In figuur 12 zie je hoe je een PTC kunt gebruiken om de motor te beschermen.



figuur 12 Een PTC beschermt de elektromotor.

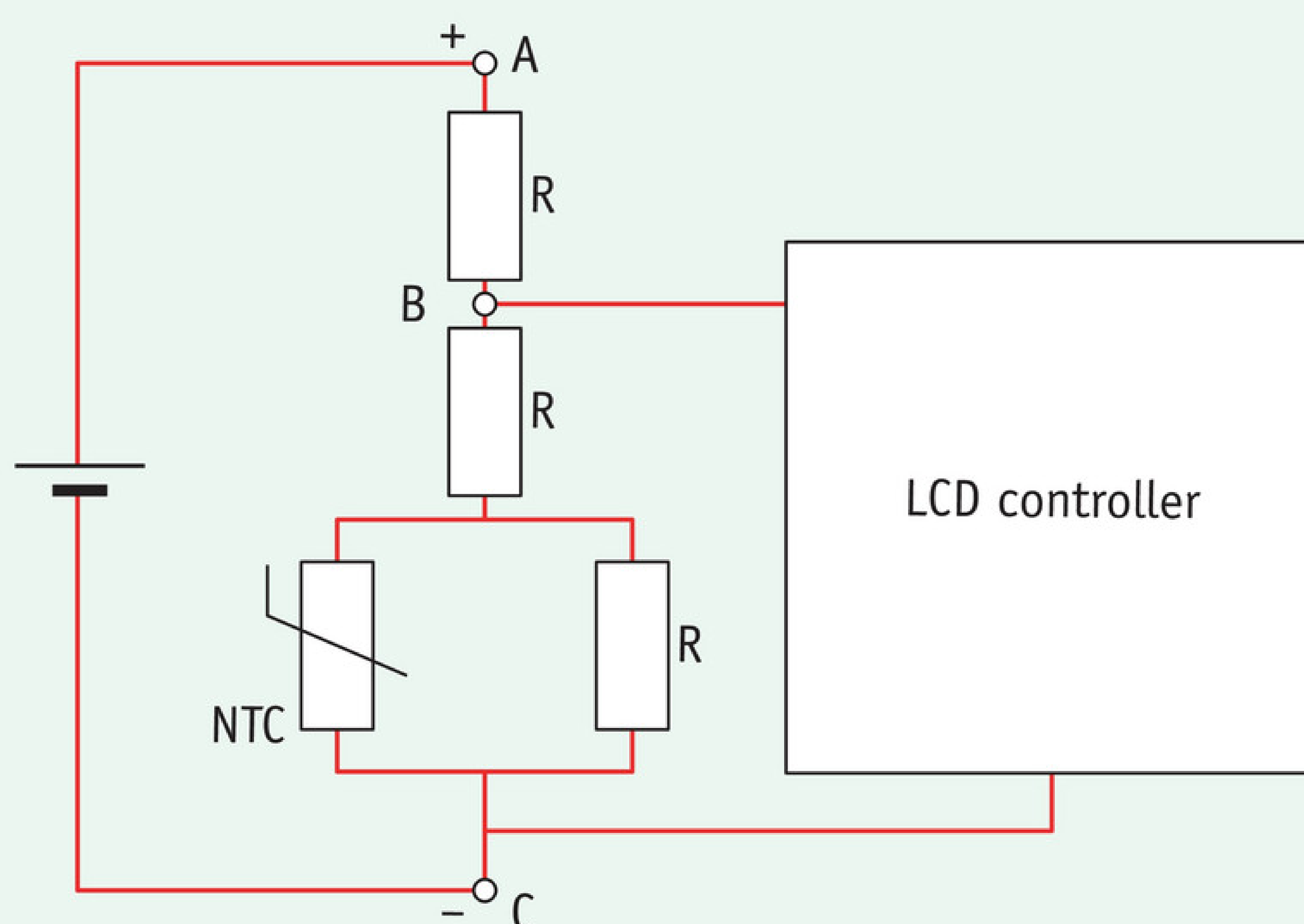
a Leg uit hoe de PTC de motor beschermt op het moment dat de stroomsterkte in de schakeling plotseling toeneemt doordat de motor wordt geblokkeerd.

b Astrid schakelt de geblokkeerde ventilator in. Hierdoor loopt er een grote stroom door de schakeling in figuur 12.
Stel dat de geblokkeerde elektromotor een constante weerstand heeft. Leg uit wat er dan met de spanning over de PTC en de motor gebeurt vanaf het moment dat deze grote stroom door de schakeling loopt.

12 Op internet leest Lisa informatie over de toepassing van NTC's in smartphones.

> Het contrast van lcd-schermen die worden gebruikt in smartphones verandert als de omgevingstemperatuur stijgt of daalt. Daarom moet de spanning over de chip die de lichtsterkte regelt worden aangepast als de omgevingstemperatuur verandert. Hoe groter de spanning over deze chip, hoe groter het contrast.
>
> *Naar: https://product.tdk.com*

In figuur 13 staat een vereenvoudigde weergave van een schakeling die dit regelt. Hierin zijn een NTC en vaste weerstanden R opgenomen.



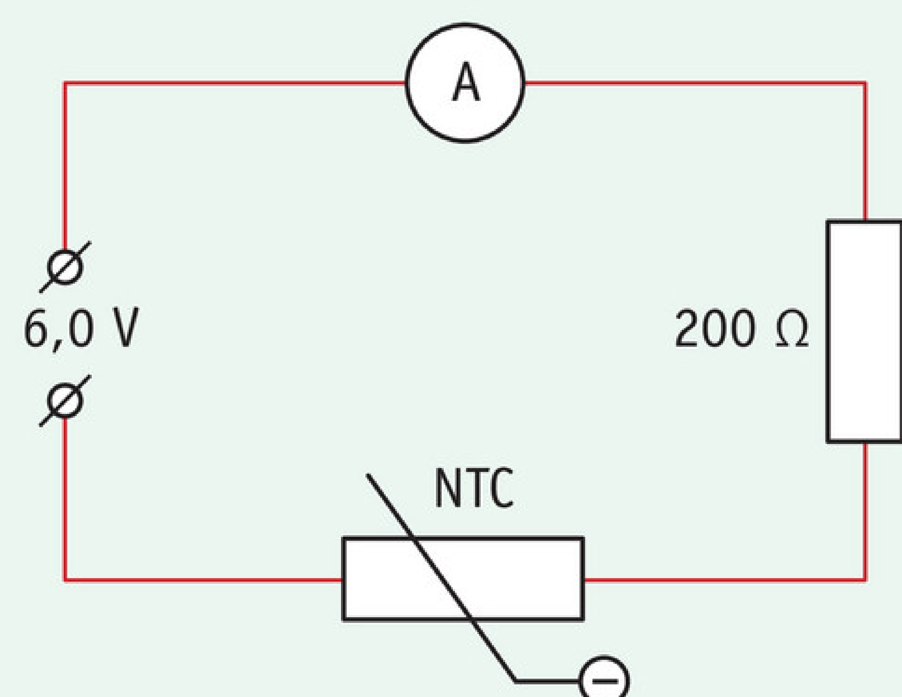
figuur 13 De schakeling die de spanning van de lcd-controller regelt.

a Leg uit wat er met de spanning tussen punt A en B gebeurt als de omgevingstemperatuur daalt.

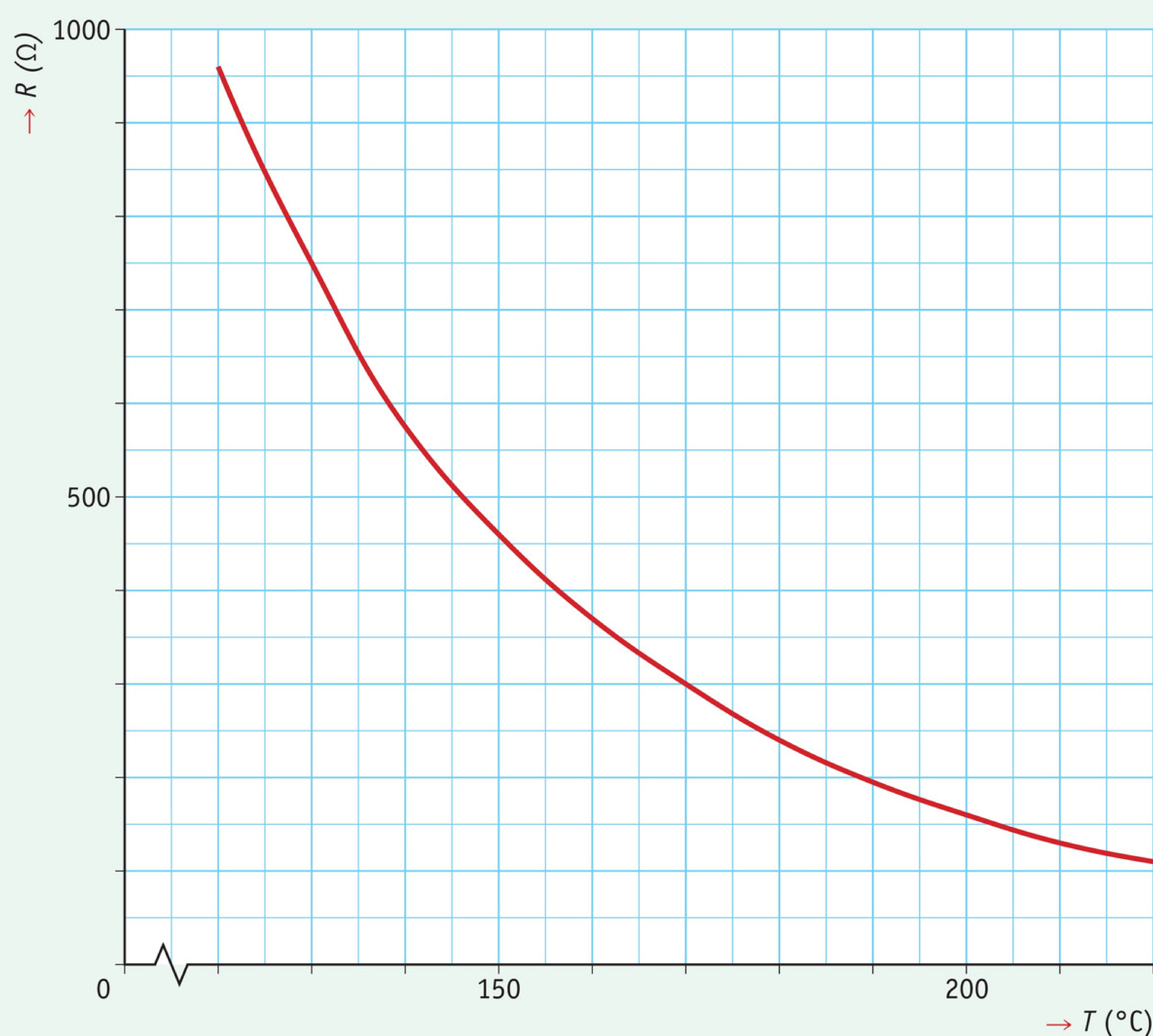
b Leg uit wat er met de spanning over de lcd-controller gebeurt als de omgevingstemperatuur daalt.

c Als de omgevingstemperatuur laag is, wordt het contrast van een lcd-display slechter. Leg uit hoe de schakeling dit probleem verhelpt.

13 In figuur 14 zie je een schakeling waarmee de temperatuur van de olie in een frituurpan wordt gemeten. In de grafiek van figuur 15 zie je hoe de weerstand van de NTC afhangt van de temperatuur.



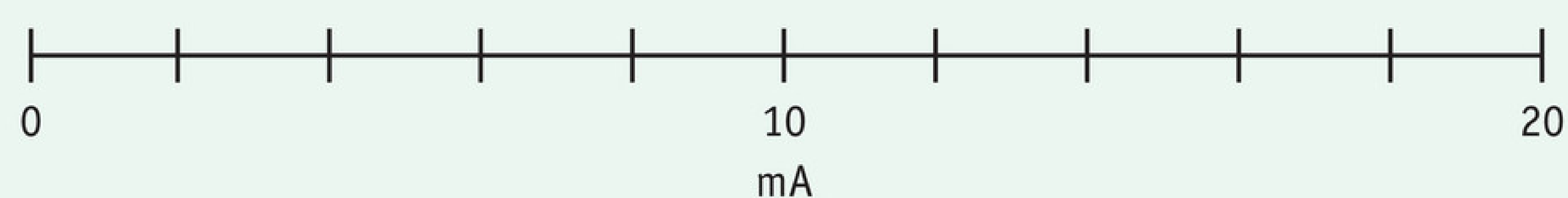
figuur 14 Met deze schakeling kun je de temperatuur in een frituurpan meten.



figuur 15 Verloop van de weerstandswaarde van een NTC tegen de temperatuur.

a Bereken de stroomsterkte in de schakeling als de temperatuur 190 °C en 170 °C is.

b In figuur 16 is de schaalverdeling van de gebruikte stroommeter getekend.
Zet boven de schaalverdeling een indeling in graden Celsius. Het is voldoende als je de twee gevonden temperaturen erbij zet.



figuur 16 Een schaalverdeling.

c Wietske wil ook een schaalverdeling maken, maar zij wil gebruikmaken van een spanningsmeter in plaats van een stroommeter. Ze wil ervoor zorgen dat een hogere temperatuur overeenkomt met een hogere uitslag van de spanningsmeter. Ze twijfelt of ze de spanningsmeter over de vaste weerstand (200 Ω) moet schakelen, of juist over de NTC.

Kies steeds het juiste alternatief.
Als de temperatuur hoger wordt, *stijgt* / *daalt* de weerstand van de NTC.
Hierdoor neemt de totale weerstand in de schakeling *toe* / *af*.
De stroomsterkte in de schakeling *stijgt* / *daalt* daardoor.
Hierdoor neemt de spanning over de vaste weerstand (200 Ω) *toe* / *af* en de spanning over de NTC *toe* / *af*.
Wietske moet de spanningsmeter dus over de *NTC* / *vaste weerstand* schakelen.

4 Automatische schakelingen

LEERDOELEN

5.4.1 Je kunt uitleggen wat de functie is van de sensor, de schakelaar en de actuator in een automatische schakeling.

5.4.2 Je kunt de werking beschrijven van een transistor die wordt gebruikt als schakelaar.

5.4.3 Je kunt het schakelschema tekenen van een eenvoudige schakeling met een transistor, zoals een inbraakalarm of een automatische straatlantaarn.

5.4.4 Je kunt uitleggen hoe de schakelingen voor een inbraakalarm en een automatische straatlantaarn werken.

PLUS 5.4.5 Je kunt de werking van de diode in een gelijkrichter uitleggen.

Veel auto's hebben een inbraakalarm. Als een autodief probeert de deuren te forceren, begint een sirene te loeien en gaan de knipperlichten aan. Vaak activeert zo'n alarm ook een startonderbreking en blokkeert het de brandstofvoorziening. Dit is allemaal mogelijk dankzij schakelingen die het gevaar detecteren en daarop reageren.

SENSOR – SCHAKELAAR – ACTUATOR

Veel mensen hebben een buitenlamp die vanzelf aan- en uitgaat. Zo'n lamp wordt bediend door een automatische schakeling die uit drie delen bestaat: een sensor, een schakelaar en een actuator.

Elk onderdeel van de schakeling heeft een functie.

- De **sensor** produceert een elektrisch signaal dat informatie geeft over de omgeving. Zo 'vertelt' hij aan de schakelaar of er in de omgeving iets verandert.
- De **schakelaar** reageert op de informatie van de sensor. Als het signaal van de sensor daar aanleiding voor geeft, schakelt hij de stroom in of juist uit.
- De **actuator** doet iets wat op dat moment gewenst is: een lamp gaat branden, een sirene begint te loeien, een motor slaat aan, enzovoort (figuur 1).



figuur 1 De schakeling in een rookmelder reageert al op een kleine hoeveelheid rook.

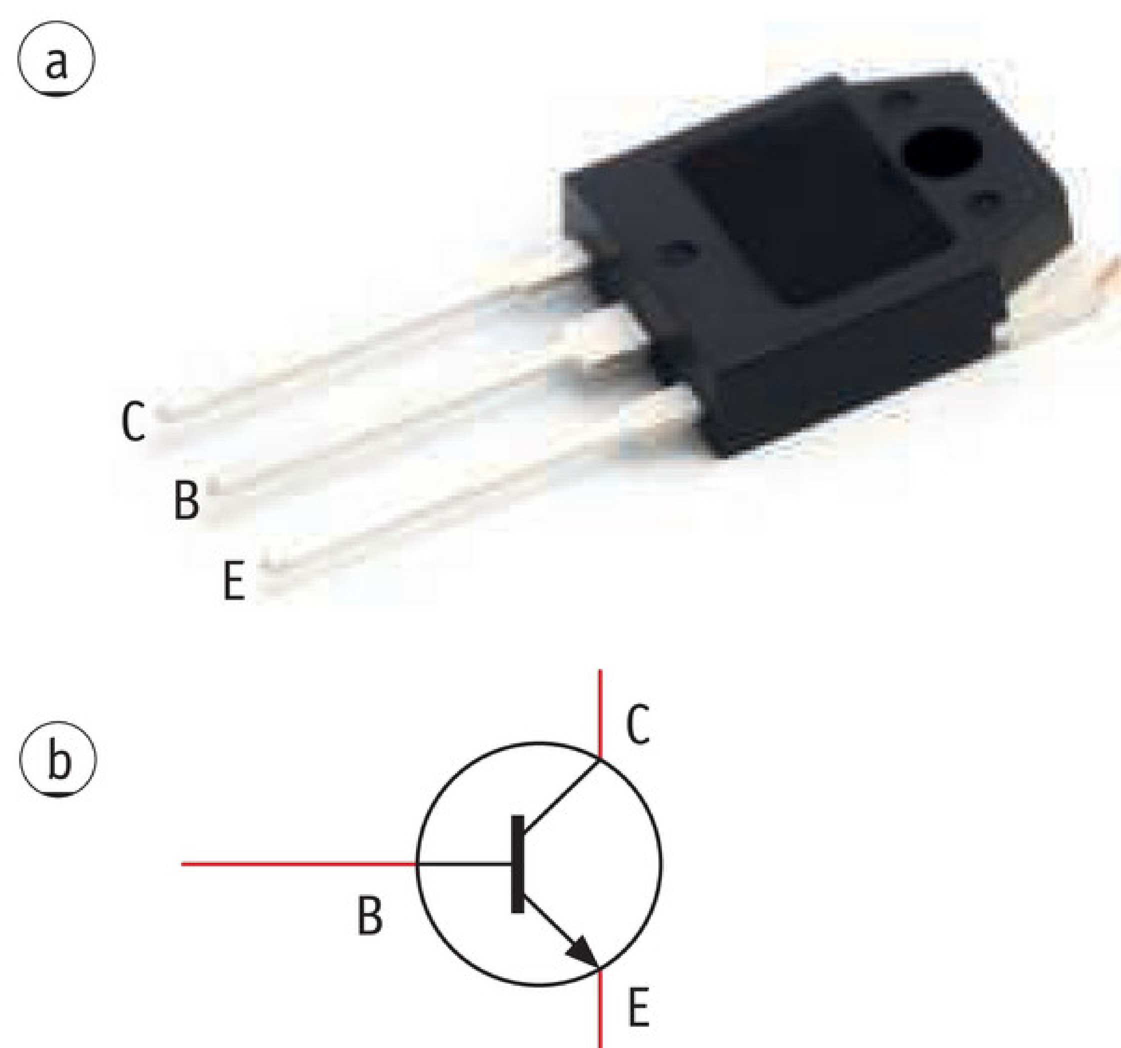
In sommige buitenlampen zit een sensor die reageert op de hoeveelheid licht. Als het donker wordt, verandert het signaal van de sensor. Een schakelaar in de lamp schakelt dan de lamp in. Er zijn ook buitenlampen die aangaan als er iemand voorbijkomt. In zo'n lamp wordt een infrarooddetector als sensor gebruikt. Deze sensor reageert op de infrarode straling die door mensen en dieren wordt uitgezonden.

DE WERKING VAN EEN TRANSISTOR

In veel automatische schakelingen wordt de actuator aan- en uitgezet door een **transistor**. Zo'n transistor functioneert in dat geval als een automatische schakelaar. Zoals je in figuur 2 kunt zien, heeft een transistor drie aansluitpunten:

- de **collector** (C)
- de **basis** (B)
- de **emitter** (E)

figuur 2 Een transistor met het bijbehorende schakelsymbool.

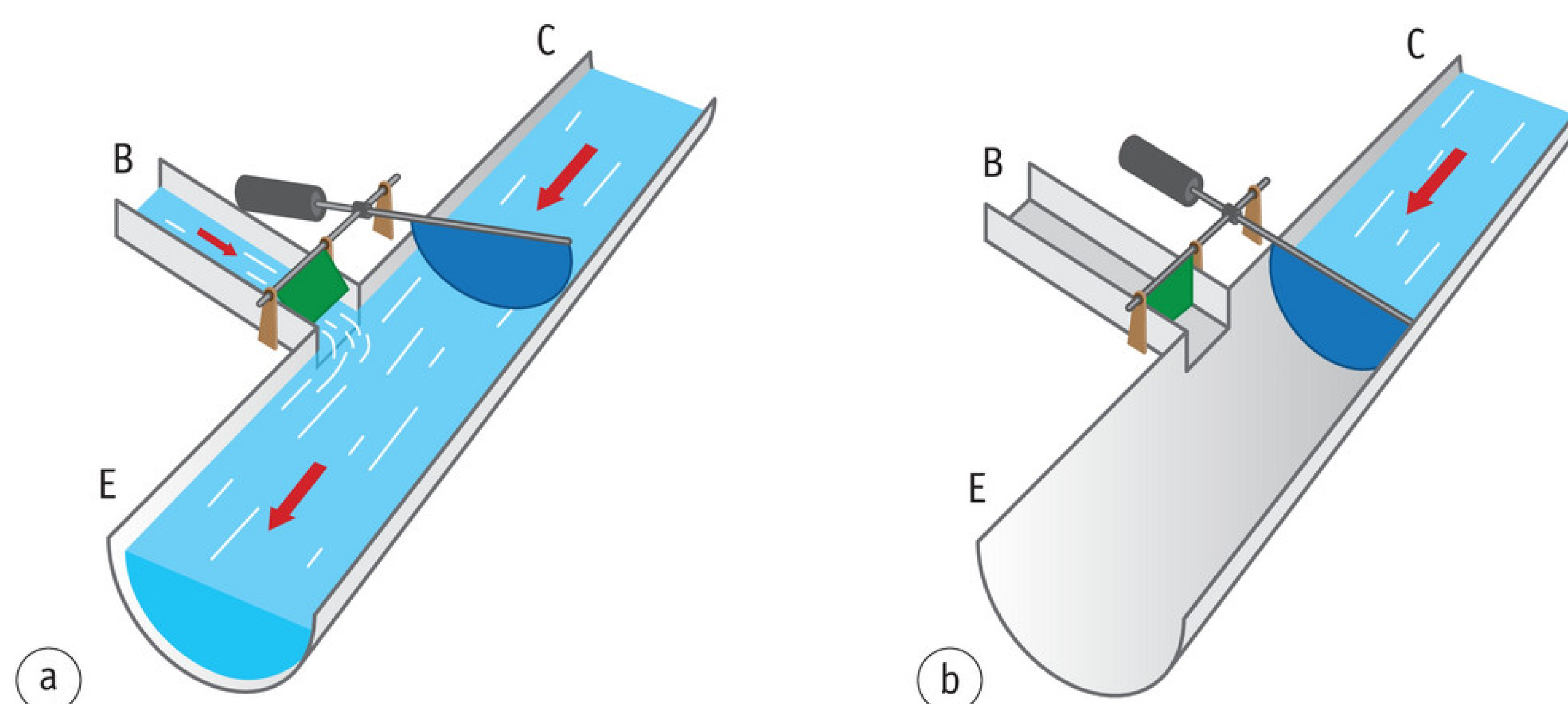


Je kunt de werking van een transistor vergelijken met die van een slagboom. Zoals een slagboom het verkeer op een weg doorlaat of juist tegenhoudt, zo doet een transistor dat met de stroom naar een apparaat.

In de AAN-stand laat de transistor de stroom door, in de UIT-stand houdt hij de stroom tegen.

- De transistor staat in de AAN-stand als er een stroom loopt van de basis (B) naar de emitter (E). Er kan dan een veel grotere stroom lopen van de collector (C) naar de emitter (figuur 3a).
- De transistor staat in de UIT-stand als er geen of maar heel weinig stroom van de basis naar de emitter loopt. Er kan dan geen stroom lopen van de collector naar de emitter (figuur 3b).

figuur 3 Een schematische weergave van een transistor in de AAN-stand (a) en de UIT-stand (b).

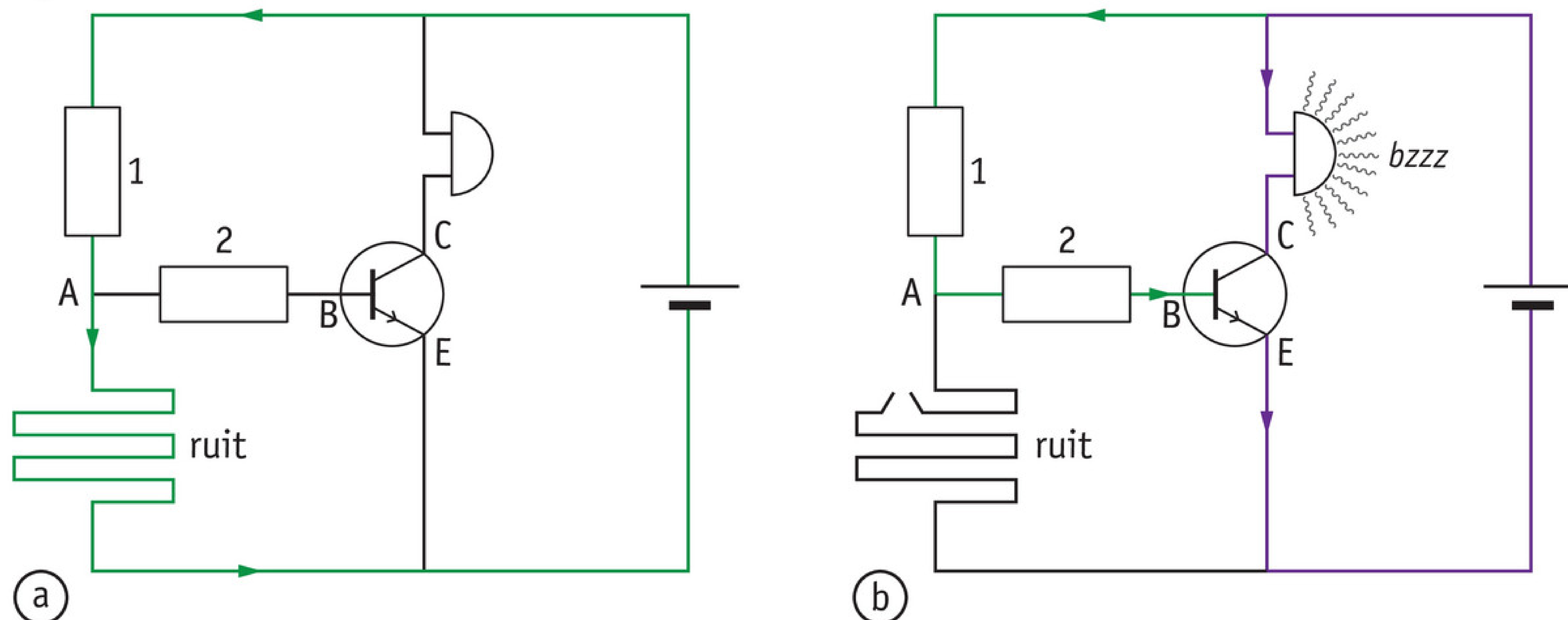


Je gebruikt dus een klein 'schakelstroompje' (via B naar E) om een veel grotere 'apparaatstroom' (via C naar E) in en uit te schakelen. Een transistor kan gemakkelijk kapotgaan als deze stromen te groot worden. Daarom worden in schakelingen met transistors vaak ook een of meer weerstanden opgenomen. Deze werken dan als stroombegrenzer.

EEN INBRAAKALARM

In figuur 4 zie je een inbraakalarm met een draad op een ruit. In deze schakeling wordt een draad op de ruit als sensor gebruikt. Je ziet dat de stroom zich bij A in tweeën splitst (figuur 4a). Het grootste deel (meer dan 99,9%) loopt via de draad op de ruit terug naar de batterij. Door de basis (die een veel grotere weerstand heeft) loopt nauwelijks stroom.

figuur 4 Een alarminstallatie met een transistor.



De grootte van de schakelstroom via de basis is het signaal waarop de transistor reageert. Zolang de draad op de ruit (onder A) heel blijft, is die schakelstroom heel klein en blijft de transistor in de UIT-stand staan. Er loopt dan geen stroom van C naar E. De zoemer staat uit. De weerstanden 1 en 2 zorgen ervoor dat de stromen die er wel lopen, zo klein mogelijk zijn.

In figuur 4b heeft iemand de ruit ingeslagen en is de draad op de ruit kapotgegaan. De stroom kan nu alleen via de basis teruglopen naar de batterij. De schakelstroom van B naar E neemt hierdoor sterk toe. De transistor reageert op dit signaal door naar de AAN-stand te schakelen. Er kan nu een flinke stroom van C naar E lopen: de zoemer gaat aan.

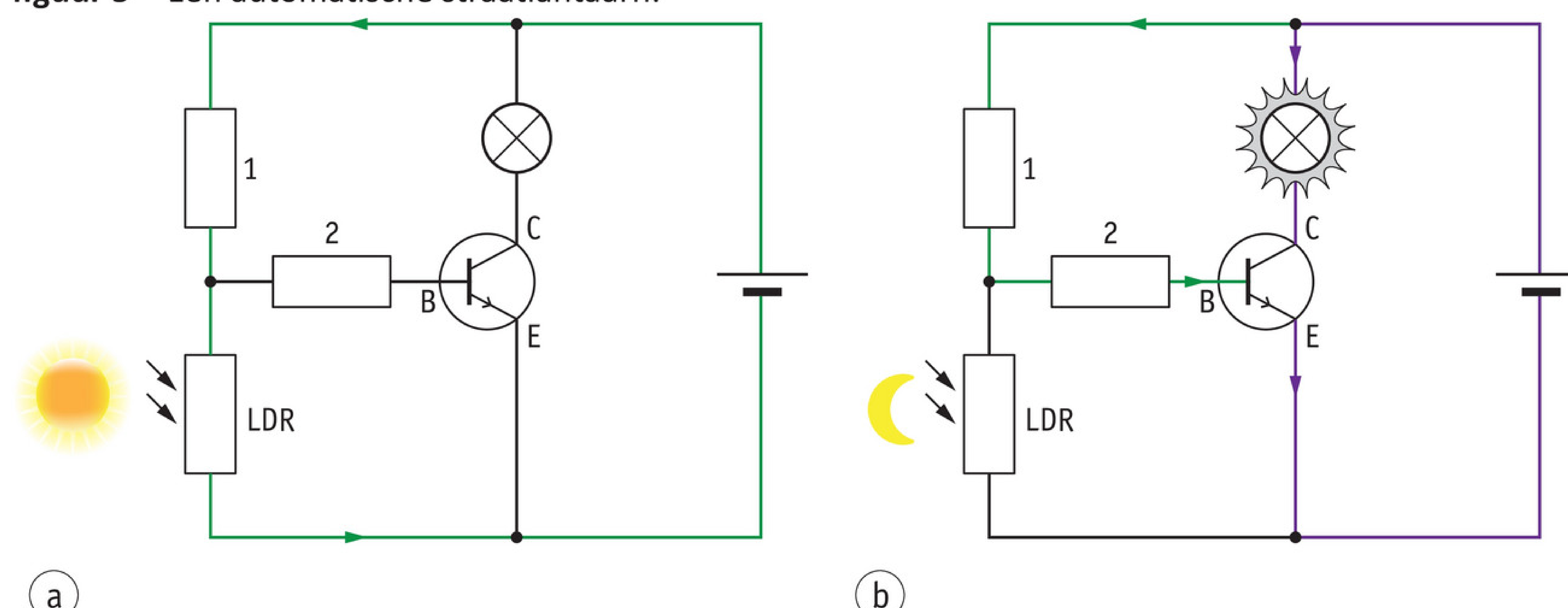
DE AUTOMATISCHE STRAATLANTAARN

Met een transistor kun je ook een automatische straatlantaarn bouwen. In de schakeling van figuur 4a vervang je daarvoor twee dingen: de draad op de ruit wordt vervangen door een LDR en de zoemer door een lamp.

In figuur 5a zie je het resultaat. Als het licht is, is de weerstand van de LDR klein. Bijna alle stroom loopt dan via de LDR en dus niet via de basis. De transistor blijft in de UIT-stand staan: de lamp brandt niet.

Als het donker wordt, neemt de weerstand van de LDR toe. Daardoor zal er steeds meer stroom door de basis lopen. Er loopt nu ook steeds meer stroom door de lamp. Als het helemaal donker is, brandt de lamp op volle sterkte (figuur 5b).

figuur 5 Een automatische straatlantaarn.



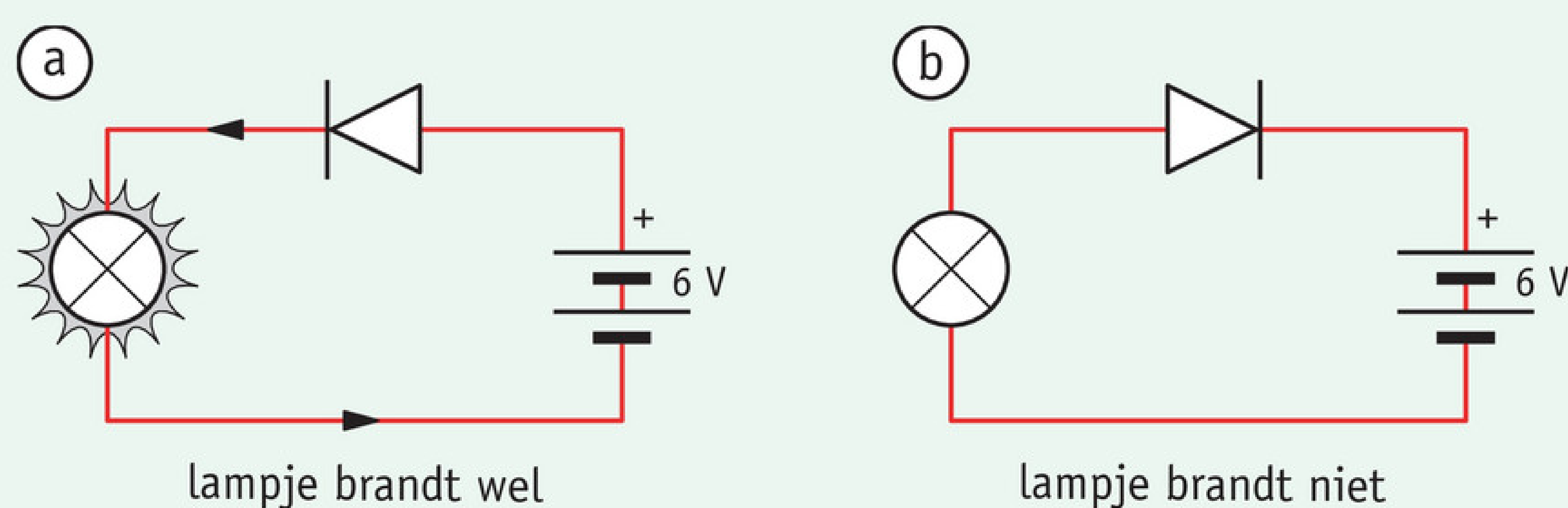
PLUS DE DIODE

In een computer of televisie vind je behalve weerstanden ook veel dioden. Een **diode** is een bijzonder soort weerstand: de stroom kan maar in één richting door de diode lopen. In figuur 6a zie je het symbool voor een diode. Dioden die licht geven als er stroom doorheen gaat heten leds (figuur 6b). Als de stroom in de richting van de pijl loopt, staat de diode in de doorlaatrichting. De diode heeft dan een zeer lage weerstand en de stroom kan er dan ongehinderd doorheen lopen (figuur 7a). In de omgekeerde richting heeft de diode juist een zeer hoge weerstand (figuur 7b). Je zegt dan dat de diode in de sperrichting is geschakeld.

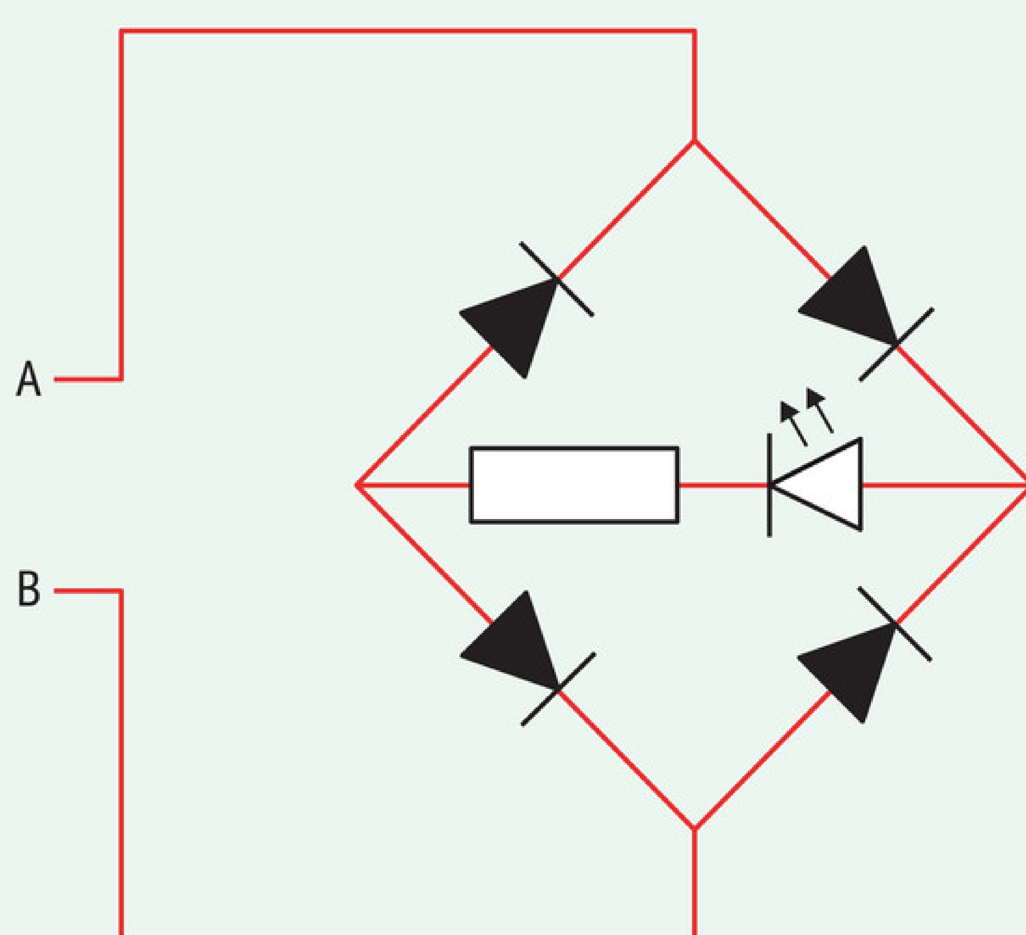
figuur 6 Het symbool van een diode (a) en van een led (b).



figuur 7 Zo werkt een diode.



Dioden worden gebruikt om wisselspanningen om te zetten in gelijkstroom. Soms heb je een wisselspanningsbron en is het nodig die wisselspanning om te zetten in een gelijkspanning, zoals bijvoorbeeld bij een telefoonoplader. In figuur 8 zie je een voorbeeld van een eenvoudige gelijkrichter. Door de dioden op een speciale manier te schakelen wordt ervoor gezorgd dat de stroom maar in één richting door de led en de weerstand loopt.



figuur 8 Zo ziet een gelijkrichter eruit.

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Welke functie heeft de transistor in een inbraakalarm?
b Hoe heten de drie aansluitpunten van een transistor?
c Wanneer laat een transistor de 'apparaatstroom' door?
d Wanneer houdt een transistor de 'apparaatstroom' tegen?

2 Trek een lijn van de functie naar de juiste onderdelen.

functie		**onderdelen**	
		1	elektromotor
A	sensor	2	LDR
B	schakelaar	3	ledlampje
C	actuator	4	NTC
		5	transistor
		6	zoemer

TOEPASSING

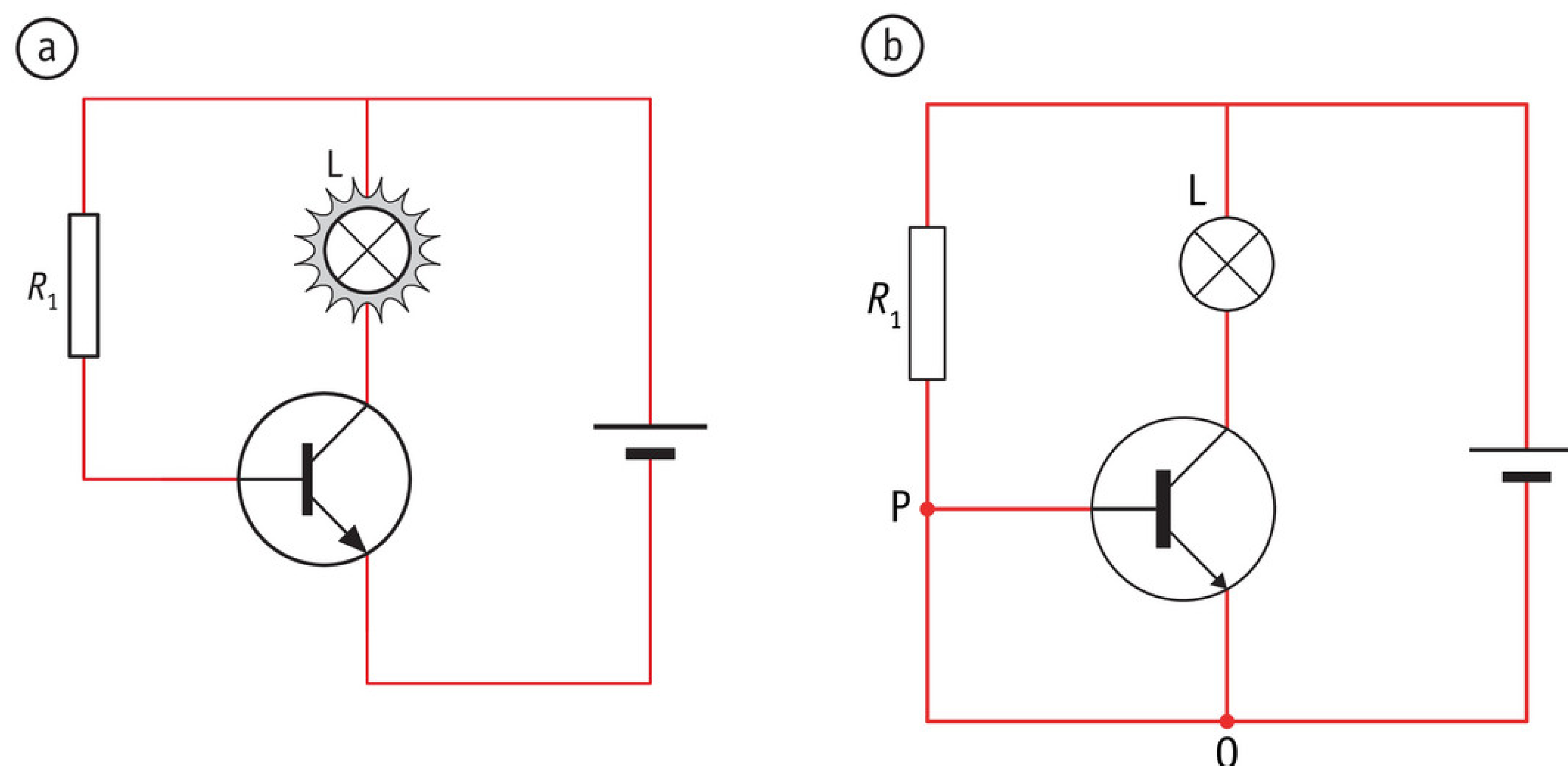
3 Je kunt in een woonhuis allerlei automatische schakelingen tegenkomen.
Welke automatische schakelingen:

a spelen een rol bij de beveiliging van de elektrische huisinstallatie?
b regelen de temperatuur in de verschillende kamers van een huis?
c helpen om een huis te beveiligen tegen ongewenste indringers?
d laten een apparaat automatisch een serie handelingen uitvoeren?

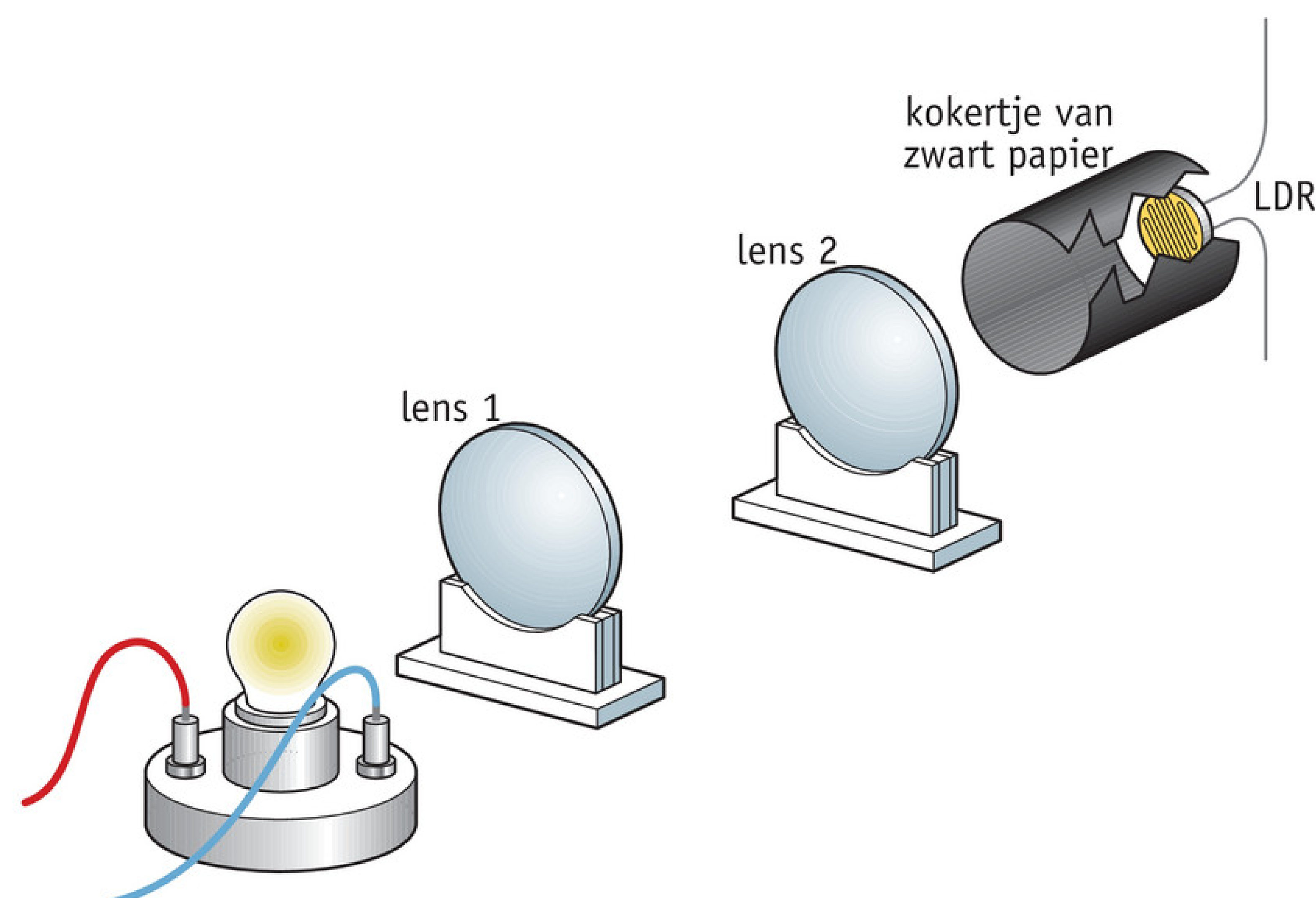
4 Inez heeft een testschakeling met een transistor gemaakt (figuur 9a).

a Zet in figuur 9a een B bij de basis, een C bij de collector en een E bij de emitter van de transistor.
b Leg uit welke stroomsterkte het grootst is: die door het lampje of die door de weerstand?
c Inez voegt een snoer aan haar schakeling toe, van P naar Q (figuur 9b).
Leg uit waardoor het lampje nu uitgaat.

figuur 9 De schakelingen van Inez.



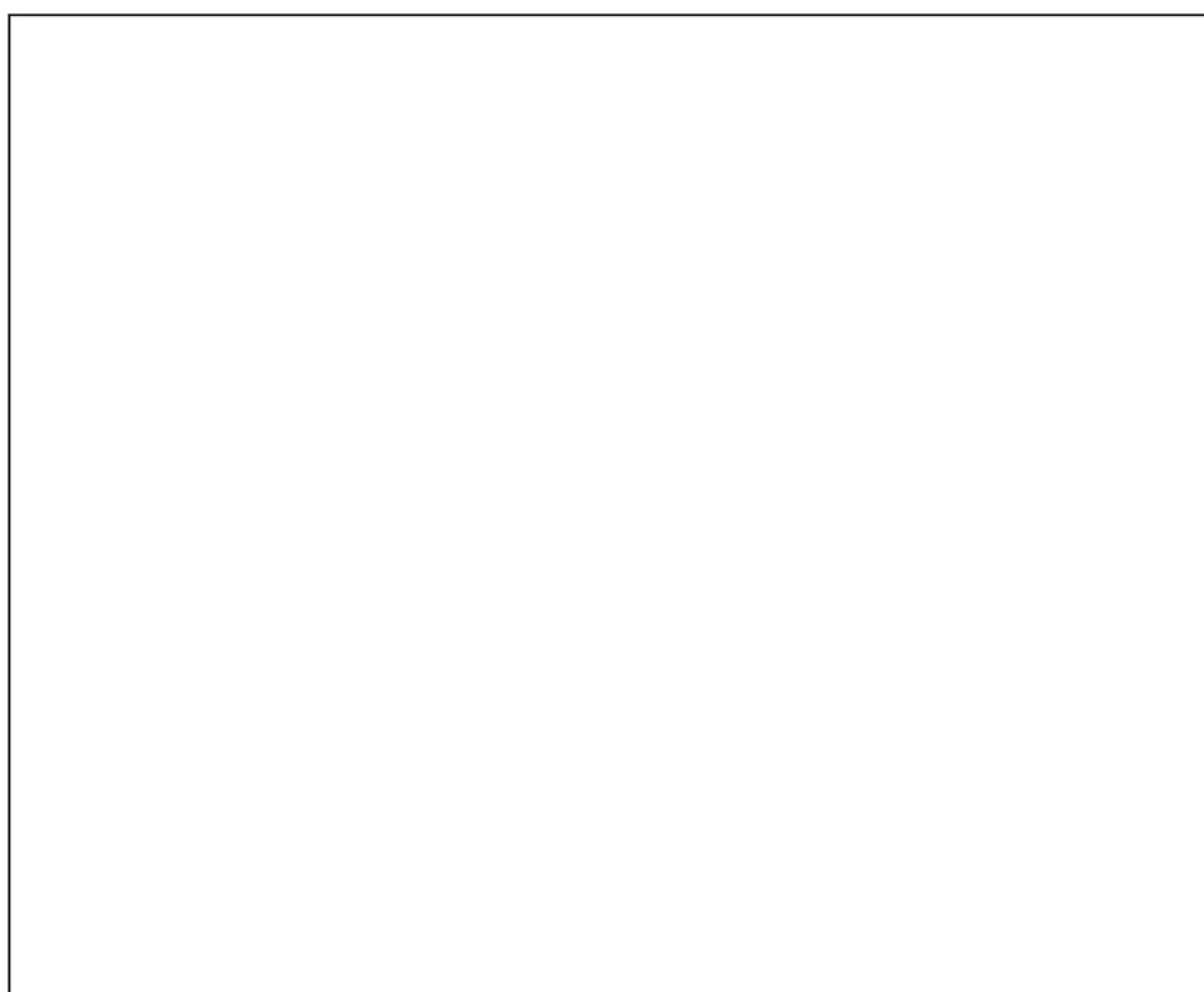
5 In een bepaald type inbraakalarm wordt een lichtpoort gebruikt om mensen te detecteren. Zo'n lichtpoort bestaat uit een lichtbron die een smalle lichtbundel produceert, en een lichtsensor. Als een inbreker (of iemand anders) de lichtstraal onderbreekt, gaat het alarm af. In figuur 10 is een model van zo'n lichtpoort getekend.



figuur 10 Een model van een lichtpoort.

a Leg uit:
- waarvoor lens 1 dient;
- waarvoor lens 2 dient.

b Ontwerp een eenvoudig inbraakalarm dat een zoemer laat afgaan als de lichtstraal wordt onderbroken. Teken het schakelschema van het alarm.



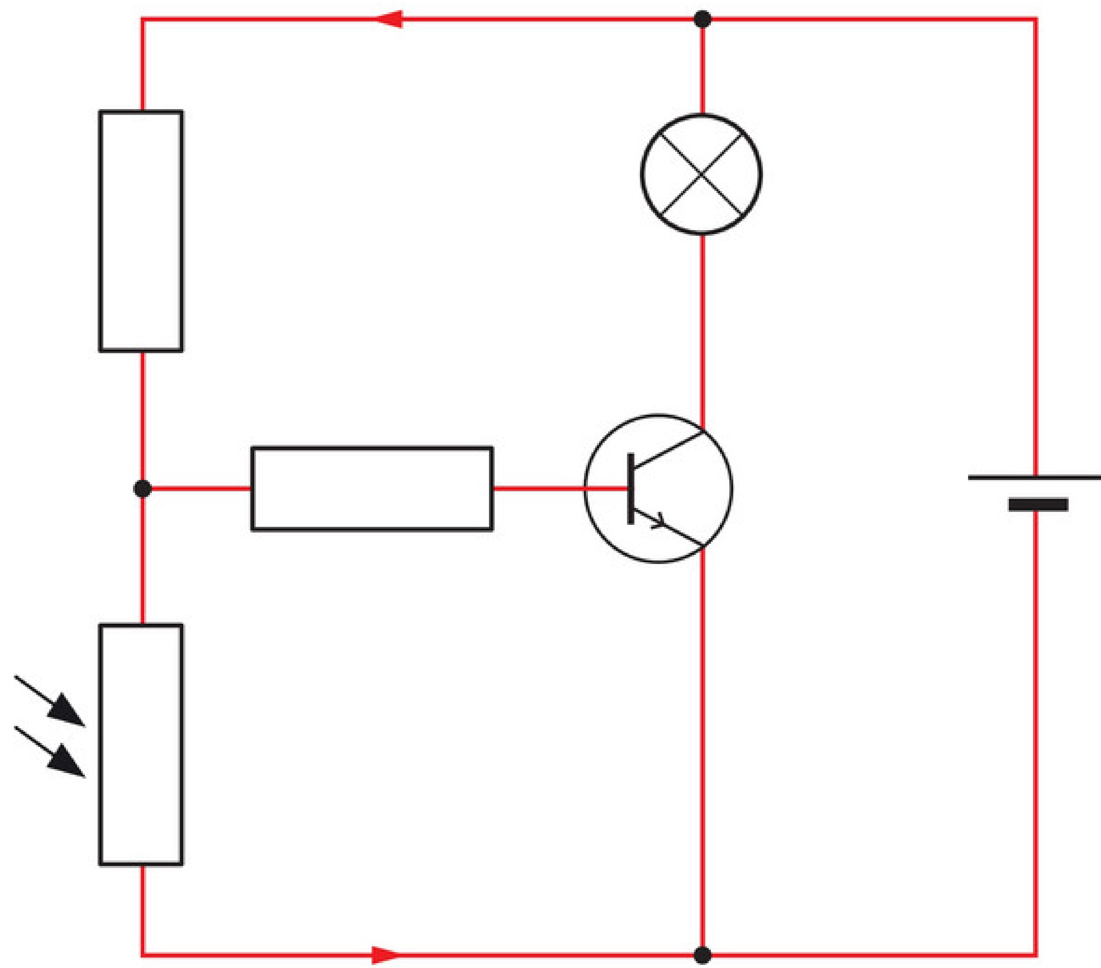
c Je kunt dit alarm ook bouwen met een infraroodlaser en een ir-sensor. Leg uit welk voordeel het gebruik van ir-straling heeft voor een inbraakalarm.

★ 6

De schakeling in figuur 5 heeft een nadeel: je kunt de verlichting niet aandoen als het nog licht is. Met een gewone schakelaar en twee draden kun je dat probleem oplossen.

a Leg uit of je de transistor en de gewone schakelaar daarvoor in serie of parallel moet schakelen.

b Teken in figuur 11 het schakelschema van de aangepaste schakeling waarmee je de verlichting ook overdag kunt aanzetten.



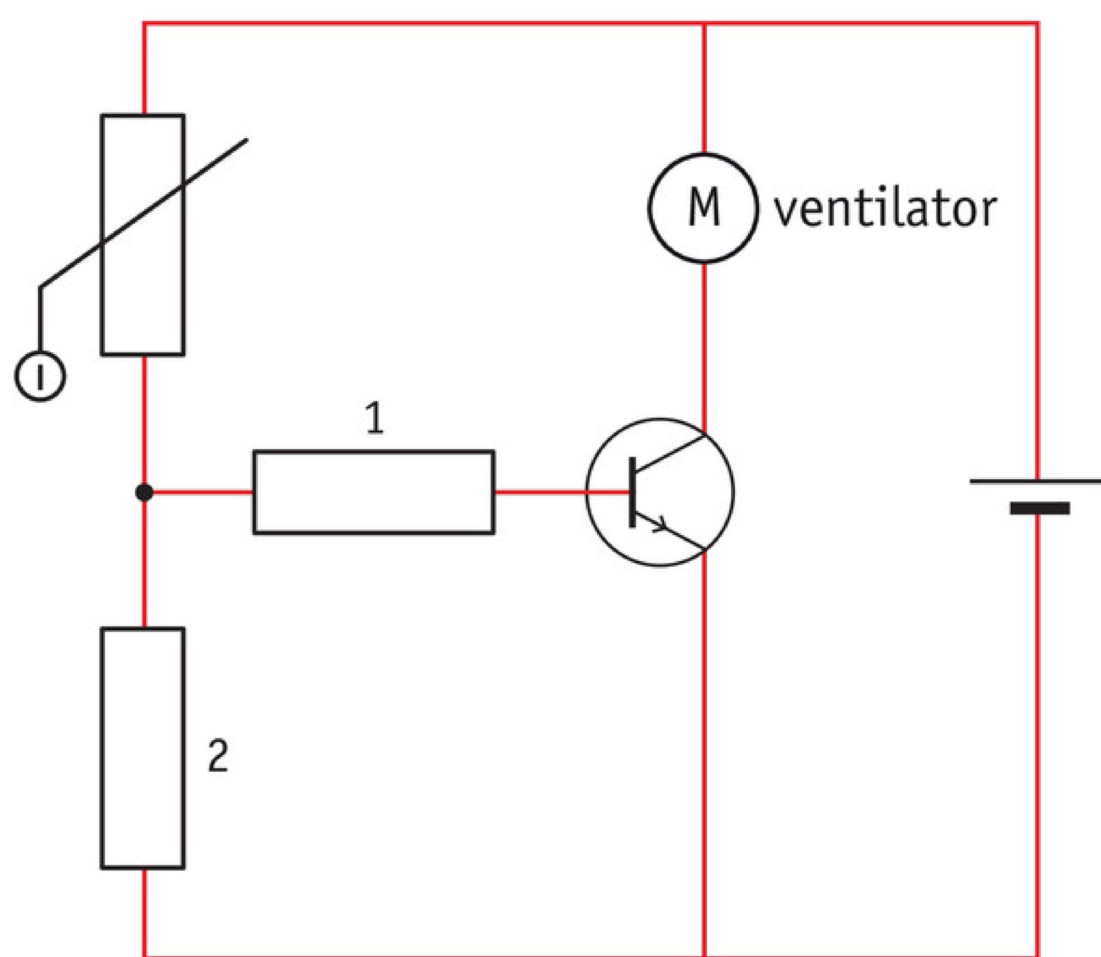
figuur 11 De aangepaste schakeling waarmee je de straatlantaarn ook overdag kunt aanzetten.

7

Computerchips kunnen erg heet worden. Daarom hebben de meeste computers een ventilator die koele lucht over de chips heen blaast. De schakeling in figuur 12 kan het toerental van zo'n ventilator automatisch regelen.

a Leg uit welk schakelonderdeel in deze schakeling functioneert als sensor.

b Beredeneer hoe deze schakeling reageert op een stijging van de temperatuur.



figuur 12 Een ventilator die rekening houdt met de temperatuur.

8

In de schakeling in figuur 12 zijn twee weerstanden gebruikt, weerstand 1 en weerstand 2.

a Leg uit welke weerstand dient om de stroomsterkte door de sensor te begrenzen.

b Welke stroomsterkte wordt door de andere weerstand begrensd?

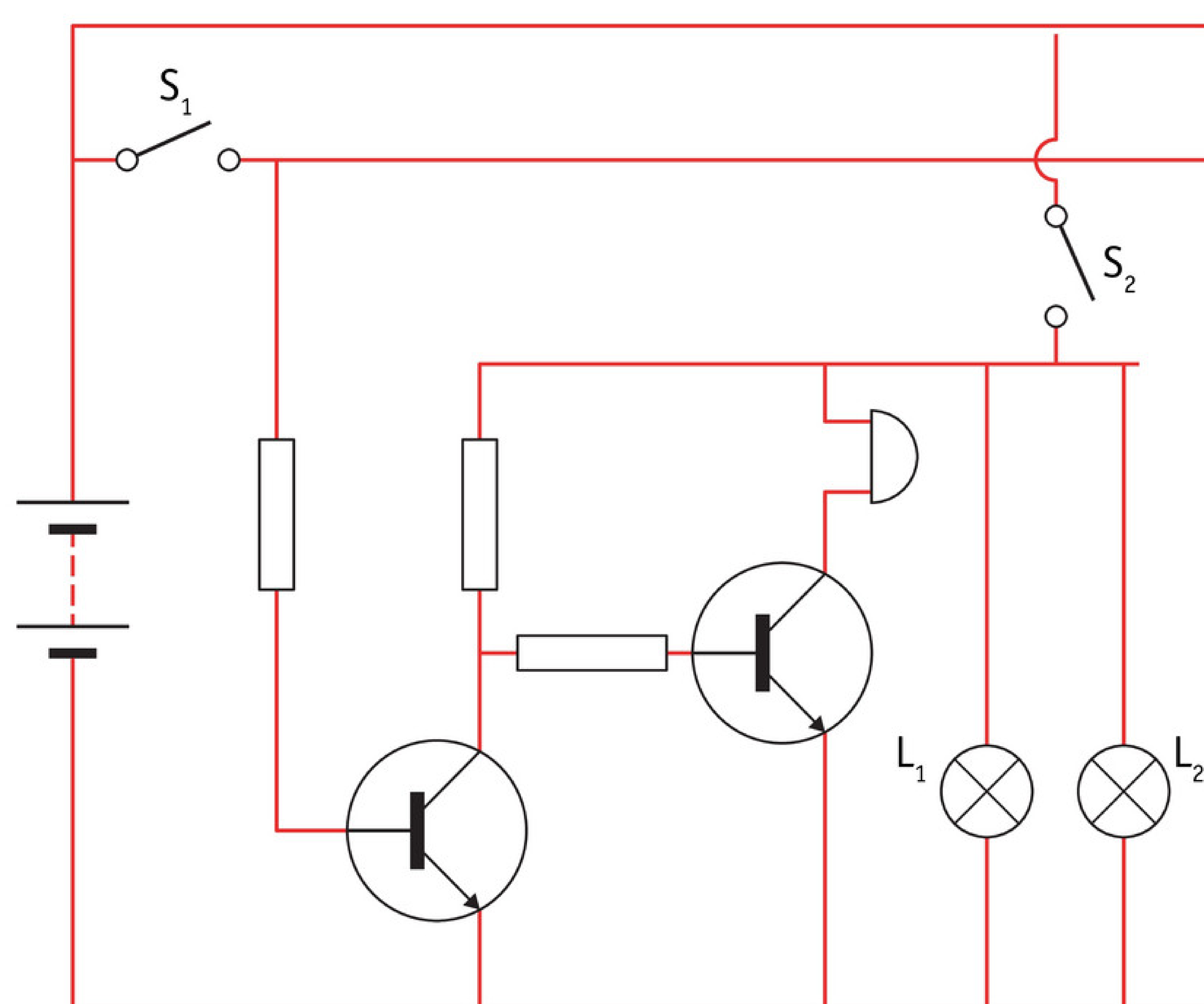
★ 9

In figuur 13 zie je een ontwerp voor een accubeveiliging. Deze beveiliging moet voorkomen dat de bestuurder bij het verlaten van de auto de verlichting laat branden, waardoor de accu leegloopt.

a Hoe wordt de bestuurder gewaarschuwd dat de lichten nog aanstaan?

b In welke situatie moet deze schakeling een waarschuwing geven? Noem de schakelaars S_1 en S_2 in je uitleg.

c Leg uit waardoor het komt dat de zoemer in deze situatie begint te zoemen (en anders niet).



figuur 13 Een accubeveiliging.

Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS DE DIODE

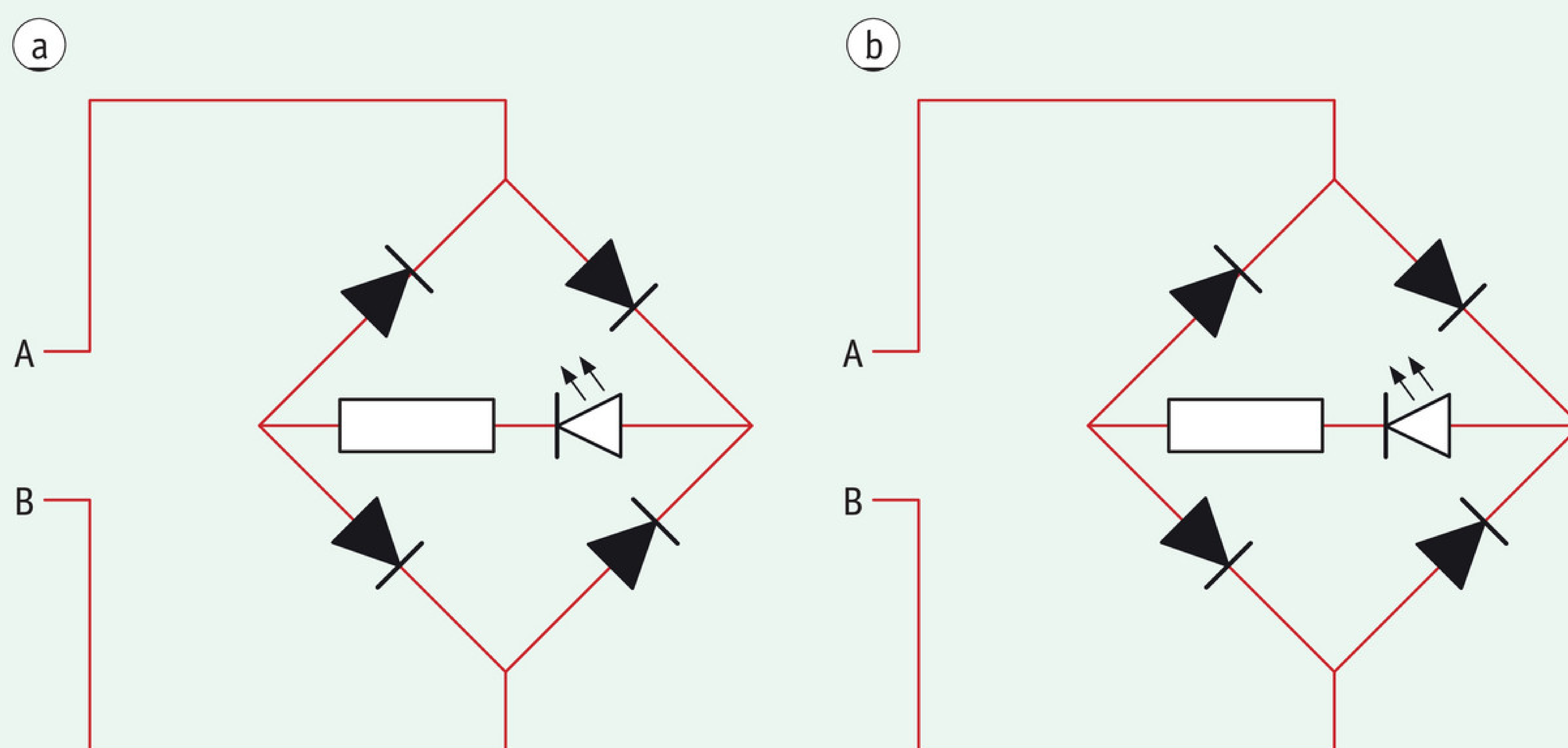
10 In figuur 14 zie je een hoe een diode wordt gebruikt als gelijkrichter. Tussen punt A en B is een wisselspanning aangesloten. Punt A is tijdens deze momentopname de pluspool en punt B de minpool.

a Teken in figuur 14a met een rode kleur het pad dat de stroom volgt vanaf punt A tot punt B.

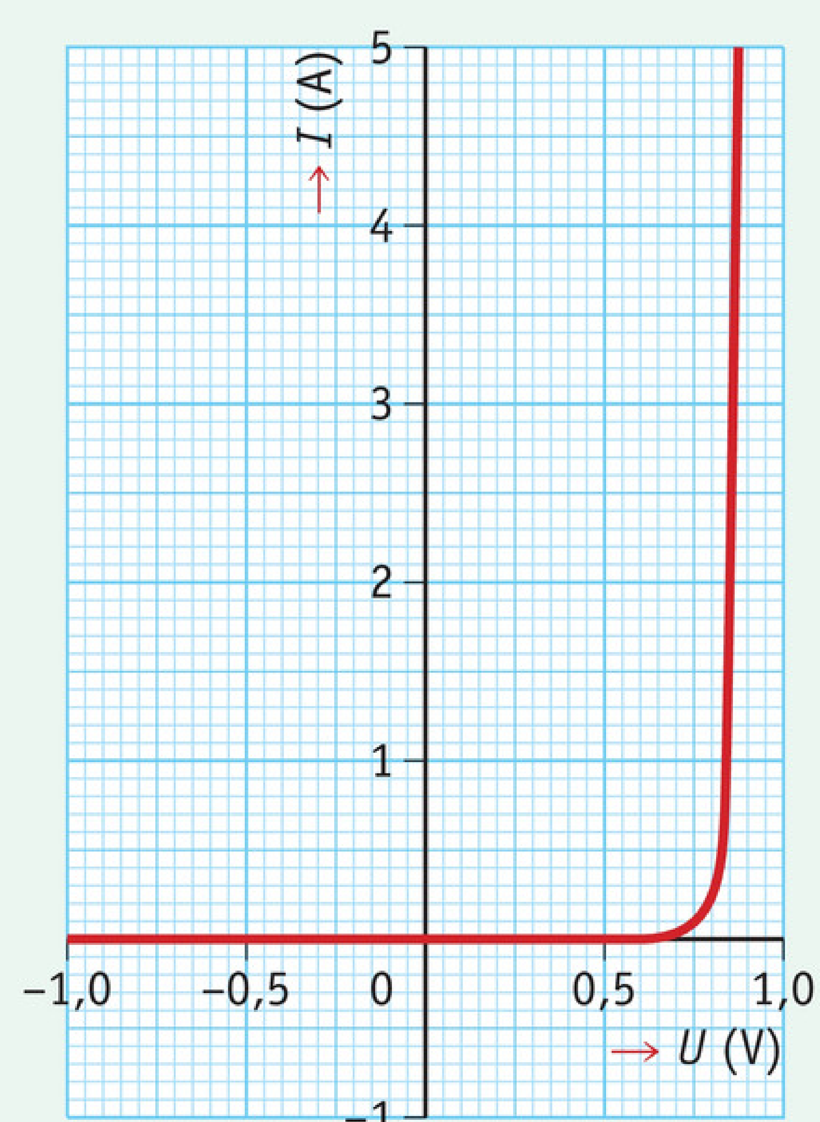
b Even later is punt A de minpool en punt B de pluspool. Teken in figuur 14b met een groene kleur het pad dat de stroom nu volgt vanaf punt A tot punt B.

c Leg uit hoe de schakeling werkt als gelijkrichter en waarom de led in zowel de situatie van opdracht a als b zal branden.

figuur 14 De stroom door de gelijkrichter.



11 In figuur 15 zie je het (I,U)-diagram van een diode. Zoals je ziet, gaat de diode in de doorlaatrichting pas stroom geleiden vanaf een bepaalde waarde van de spanning. Deze spanning noem je de doorlaatspanning en die is in de grafiek (ongeveer) gelijk aan 0,85 V. Ga er voor het gemak van uit dat dit diagram geldt voor de gebruikte dioden en voor de led in figuur 14. De spanning tussen punt A en B is op een gegeven moment gelijk aan 6,0 V.



figuur 15 Het (I,U)-diagram van een diode.

a Leg uit hoe groot de spanning over de weerstand in dit geval is.

b Leg uit wat er in deze situatie zou gebeuren als je de weerstand in figuur 14 zou weghalen en vervangen door een schakeldraad.

c Khatira schakelt de led in figuur 14 om in de andere richting. Leg uit wat je aan de schakeling moet veranderen om ervoor te zorgen dat de led blijft branden (op de wisselspanning).

Practica

PROEF 1 HET (I,U)-DIAGRAM VAN EEN CONSTANTAANDRAAD

40 minuten

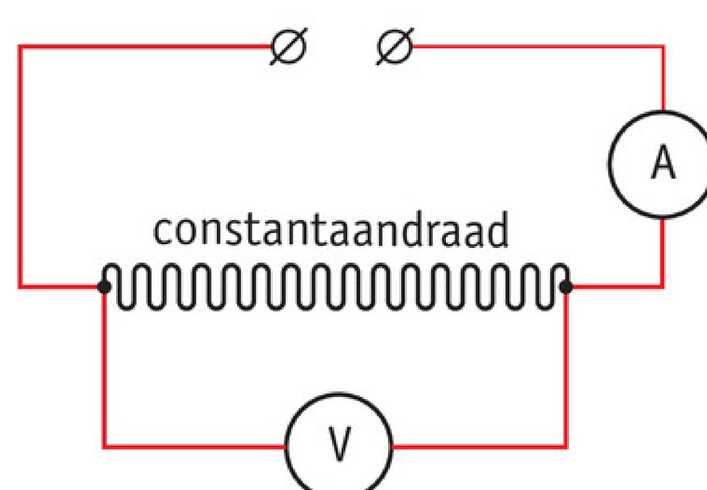
Inleiding
Als je de spanning in een schakeling verandert, verandert de stroomsterkte ook. Door metingen te doen, ontdek je hoe de stroomsterkte precies verandert. Je maakt de spanning stap voor stap groter en kijkt elke keer hoe groot de stroomsterkte dan wordt.

Doel
De onderzoeksvraag is:
Welk verband bestaat er tussen de stroomsterkte en de spanning bij een constantaandraad?

Nodig
- ☐ voedingskastje
- ☐ 5 snoeren
- ☐ stroommeter of multimeter
- ☐ spanningsmeter of multimeter
- ☐ constantaandraad

Uitvoeren en uitwerken
Meten
- Zie de vaardigheid *Werken met meetinstrumenten*.
- Maak de schakeling van figuur 1.

Meer oefening nodig met *Elektrische schakelingen maken*? Ga naar de *Vaardigheidstrainer*.



figuur 1 De schakeling van proef 1.

- Stel de spanning in op 0 V voordat je de voeding aanzet.
- Maak de spanning steeds 0,5 V hoger en meet de bijbehorende stroomsterkte door de draad. Ga hiermee door tot de spanning 3,0 V is.

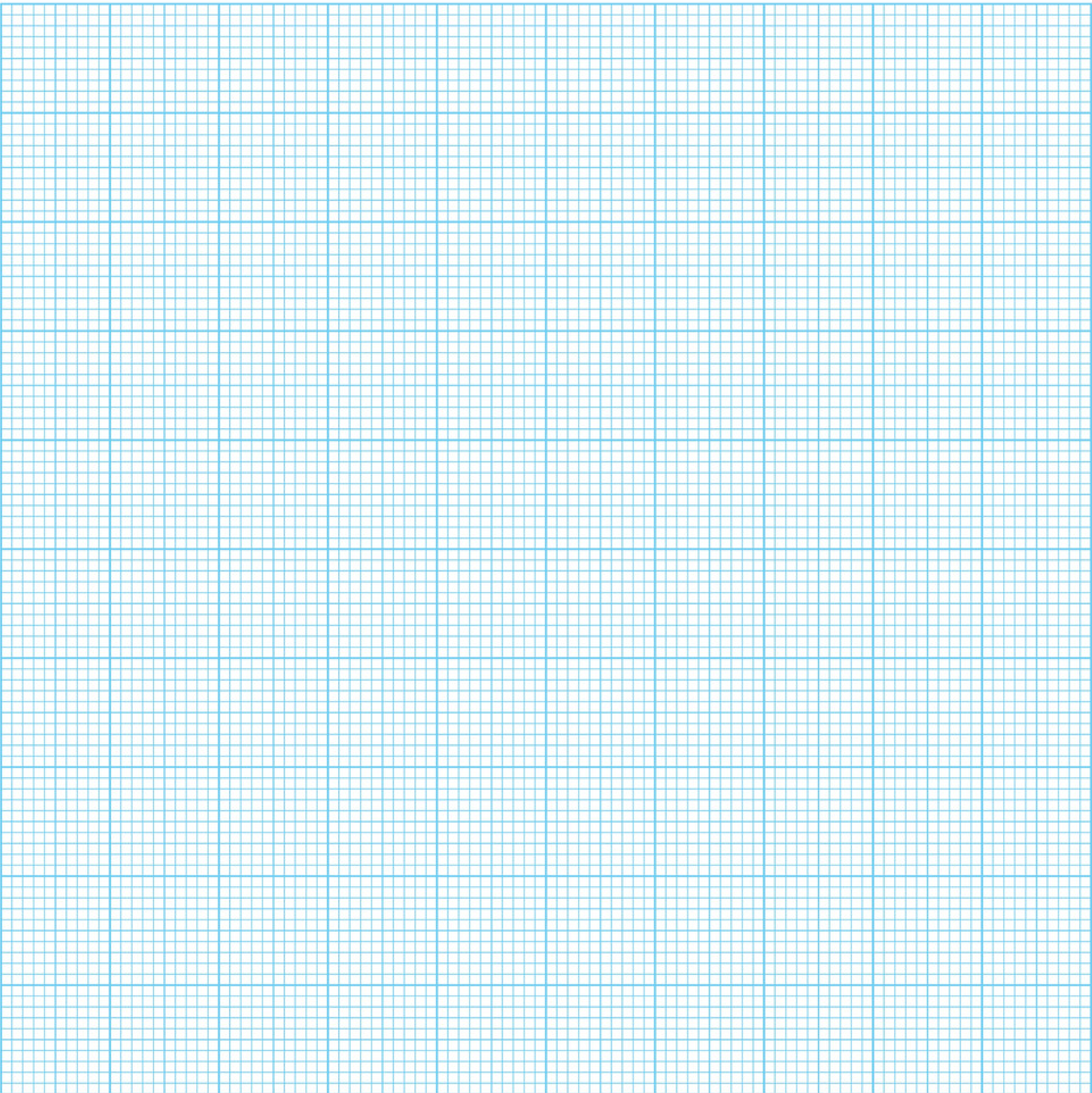
1 Noteer je meetgegevens op de juiste plaats in tabel 1.

tabel 1 De meetresultaten van proef 1.

spanning (V)	stroomsterkte (A)	weerstand (Ω)
0		
0,5		
1,0		
1,5		
2,0		
2,5		
3,0		

Uitwerken

2 Verwerk in figuur 2 je meetresultaten tot een grafiek in het (I,U)-diagram.



figuur 2 Het verband tussen de stroomsterkte door en de spanning over een constantaandraad.

3 Wat kun je zeggen over het verband tussen de spanning *over* en de stroom *door* de draad?

....

....

....

....

....

4 Bereken hoe groot de weerstand van de draad bij elke meting was. Noteer de uitkomst in de derde kolom van tabel 1.

5 Wat valt op als je de berekende weerstandswaarden met elkaar vergelijkt?

....

....

....

....

6 Had je de conclusie van opdracht 5 ook al uit het diagram kunnen trekken? Licht je antwoord toe.

....

....

....

....

....

PROEF 2 HET (*I*,*U*)-DIAGRAM VAN EEN GLOEILAMPJE

30 minuten

Inleiding

Als je de spanning in een schakeling verandert, verandert de stroomsterkte ook. Bij een constantaandraad is de stroomsterkte evenredig met de spanning: de twee grootheden gaan gelijk op. Maar geldt de uitkomst van proef 1 ook voor andere soorten draden?

Doel

De onderzoeksvraag is:
Welk verband bestaat er bij een gloeidraad tussen de stroomsterkte en de spanning?

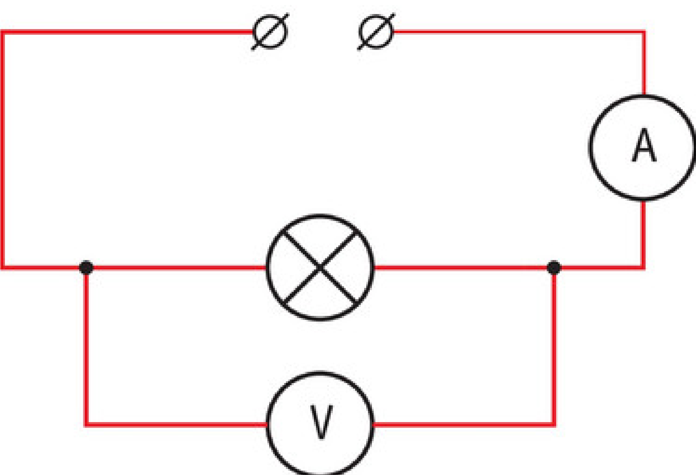
Nodig

- ☐ voedingskastje
- ☐ 5 snoeren
- ☐ stroommeter of multimeter
- ☐ spanningsmeter of multimeter
- ☐ lampje (6 V)
- ☐ fitting

Uitvoeren en uitwerken

Meten

- Maak de schakeling van figuur 3.
- Stel de spanning in op 0 V voordat je de voeding aanzet.
- Maak de spanning steeds 1 V hoger en meet de bijbehorende stroomsterkte door het gloeilampje. Ga hiermee door tot de spanning 6 V is.



figuur 3 De schakeling van proef 2.

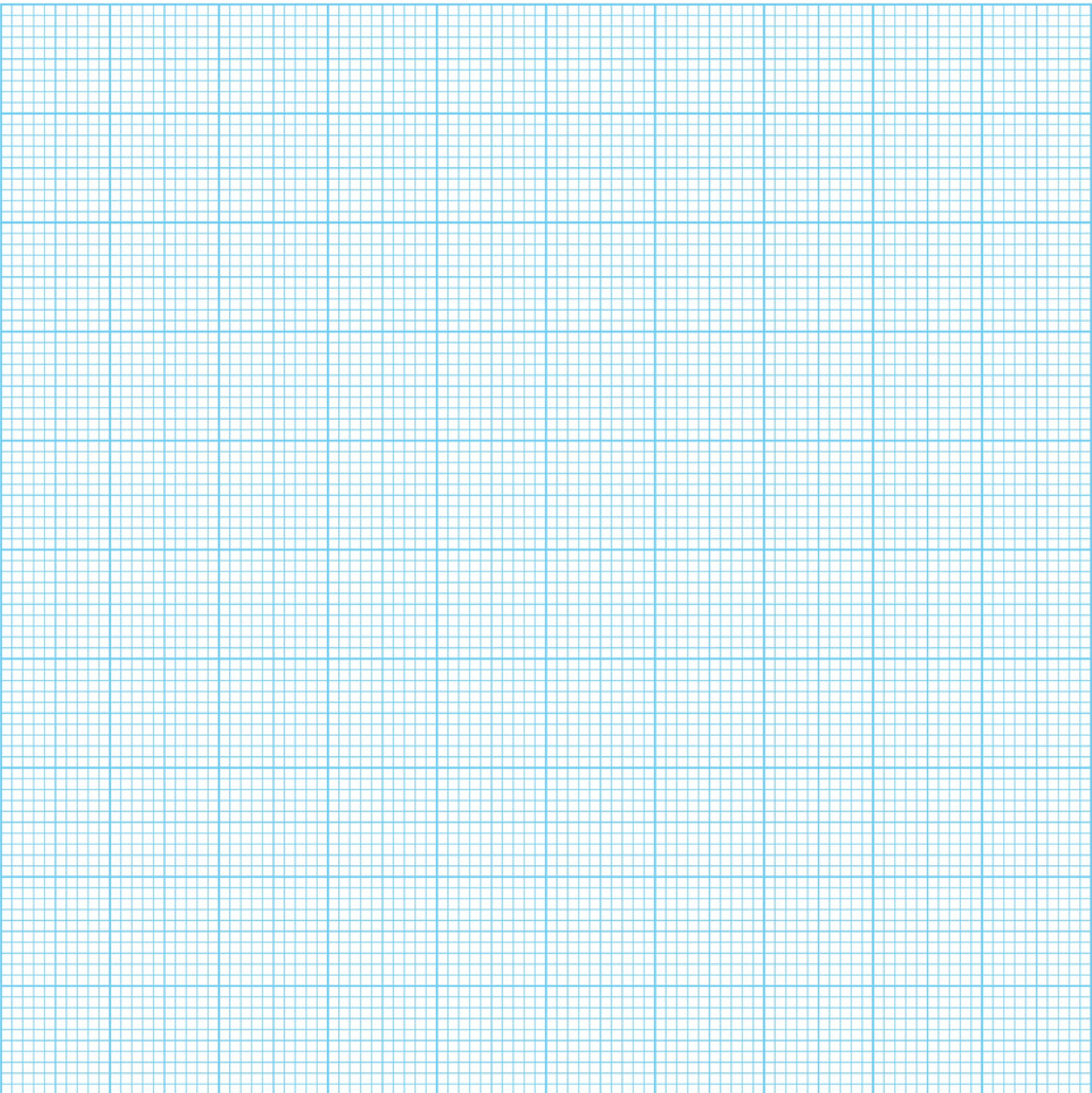
1 Noteer je meetgegevens op de juiste plaats in tabel 2.

tabel 2 De meetresultaten van proef 2.

spanning (V)	stroomsterkte (A)	weerstand (Ω)
0		
1,0		
2,0		
3,0		
4,0		
5,0		
6,0		

Uitwerken

2 Verwerk in figuur 4 je meetresultaten tot een grafiek in het (I,U)-diagram.



figuur 4 Het verband tussen de stroomsterkte door en de spanning over een gloeilamp.

3 Wat kun je zeggen over het verband tussen de spanning *over* en de stroom *door* de draad?

....

....

....

....

4 Bereken hoe groot de weerstand van het gloeilampje bij elke meting was. Noteer de uitkomst in de derde kolom van tabel 2.

5 Wat valt op als je de berekende weerstandswaarden met elkaar vergelijkt?

....

....

....

....

PROEF 3 DE VERVANGINGSWEERSTAND VAN EEN SERIESCHAKELING

20 minuten

Inleiding

Weerstanden worden vaak in serie geschakeld. Voor de totale weerstand R_{tot} van zo'n schakeling geldt:

$R_{tot} = R_1 + R_2 + ...$

Doel

Je controleert de formule $R_{tot} = R_1 + R_2 + ...$ in een serieschakeling van twee weerstanden.

Nodig

- ☐ voedingskastje
- ☐ 6 snoeren
- ☐ spanningsmeter
- ☐ stroommeter
- ☐ 2 weerstanden

Uitvoeren en uitwerken

Meten

- Bepaal de waarden van weerstand 1 en weerstand 2 met behulp van een schakeling met de stroom- en spanningsmeter.

1 Noteer je meetresultaten en berekeningen.

....

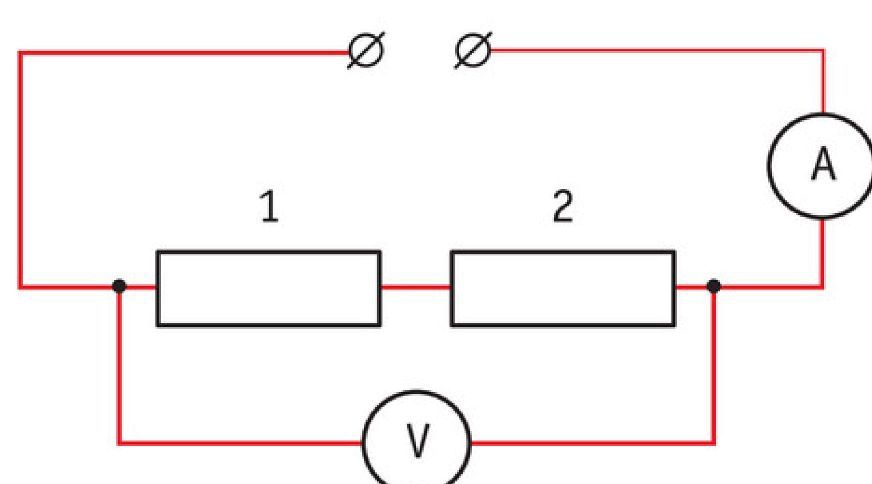
....

....

....

....

- Maak de schakeling van figuur 5.
- Meet de (totale) spanning en de stroomsterkte.



figuur 5 Het schakelschema van proef 3.

2 Noteer je meetresultaten.

....

....

....

....

Uitwerken

3 Bereken de totale weerstand met de formule:

$$R_{tot} = \frac{U_{tot}}{I}$$

....

....

....

....

4 Bereken de totale weerstand met de formule:
$R_{tot} = R_1 + R_2$

....

....

....

....

5 Vergelijk de uitkomsten van opdracht 3 en 4.
Wat is je conclusie?

....

....

....

....

....

PROEF 4 DE VERVANGINGSWEERSTAND VAN EEN PARALLELSCHAKELING

20 minuten

Inleiding

Bij proef 3 heb je de vervangingsweerstand bepaald van twee weerstanden die in serie waren geschakeld. Bij deze proef ga je met dezelfde weerstanden aan het werk, maar nu schakel je ze parallel.

Doel

In een parallelschakeling van twee weerstanden controleer je de formule:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots$$

Nodig

- ☐ voedingskastje
- ☐ 6 snoeren
- ☐ spanningsmeter
- ☐ stroommeter
- ☐ 2 weerstanden

Uitvoeren en uitwerken

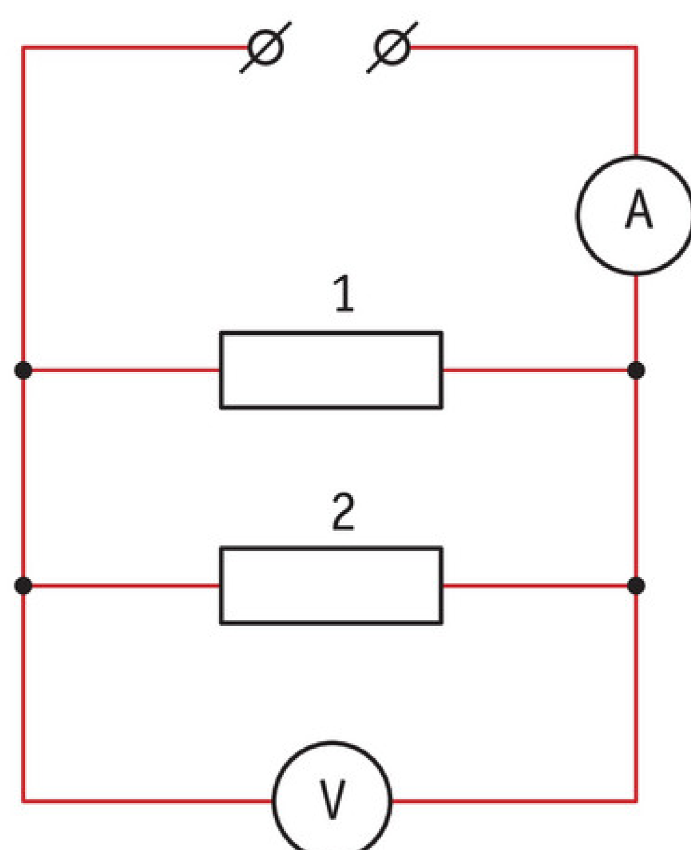
1 Noteer de waarden van weerstand 1 en 2 uit proef 3.

....

....

Meten

- Maak de schakeling van figuur 6.
- Meet de spanning en de (totale) stroomsterkte.



figuur 6 De schakeling van proef 4.

2 Noteer je meetresultaten.

....

....

....

....

Uitwerken

3 Bereken de totale weerstand met de formule:

$$R_{tot} = \frac{U}{I_{tot}}$$

....

....

....

....

4 Bereken de totale weerstand met de formule:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

....

....

....

....

5 Vergelijk de uitkomsten van opdracht 3 en 4.
Wat is je conclusie?

....

....

....

....

6 Volgens de theorie is de totale weerstand bij een parallelschakeling kleiner dan R_1 en ook kleiner dan R_2.
Hoe zit dat bij deze parallelschakeling?

....

....

....

....

Bizar snel: de quantumcomputer

BIG DATA

Een ziekenhuis in 2040. Een arts heeft net vastgesteld wat je mankeert. "Geen reden om je zorgen te maken dus," zegt ze. "Ik laat ons computersysteem nu uitzoeken wat de behandeling wordt." Je knikt, want dat is de standaardaanpak. Op basis van duizenden data over je lichaam en je levensloop kiest een computer de behandeling die voor jou het best is. Als het nodig is, wordt er voor jou alleen een passend geneesmiddel gemaakt. Je zou bijna vergeten dat het ooit anders is geweest.

Helaas, voorlopig is het nog geen 2040. Als mensen nu ziek worden, krijgen ze meestal een standaardbehandeling, die is gebaseerd op de gemiddelde eigenschappen van de patiëntengroep. Artsen weten dat dit niet ideaal is, maar het kan gewoon niet anders. Een van de problemen is dat computers niet snel genoeg kunnen rekenen. Het zou jaren kosten om alle data te combineren en daaruit een behandeling op maat af te leiden. Daar kun je niet op wachten.

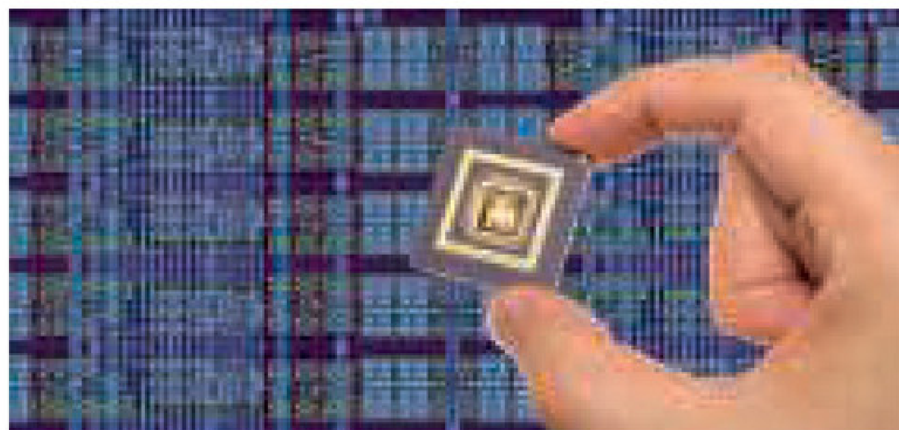
Maar het lijkt erop dat dit gaat veranderen. Wetenschappers en techbedrijven zoals Google en IBM zijn druk bezig met het ontwikkelen van een quantumcomputer. Zo'n computer kan in enkele minuten berekeningen uitvoeren waar gewone computers honderden jaren mee bezig zijn. Dat maakt allerlei nieuwe toepassingen mogelijk, zoals *personalized medicine*: geneeskunde die is afgestemd op de individuele patiënt.

MILJARDEN TRANSISTOREN

De quantumcomputer verkeert nog in een experimenteel stadium. In het dagelijks leven worden alleen 'gewone' computers gebruikt. Die kunnen er heel verschillend uitzien, van ultradunne smartphones tot metershoge mainframes in de rekencentra van grote bedrijven. Toch zijn al die verschillende computers gebaseerd op hetzelfde basisidee: transistoren – kleine elektronische schakelaars die uit of aan kunnen staan – kun je gebruiken voor het bewerken en opslaan van informatie.

Er bestaan transistoren die los te koop zijn. Maar dat geldt niet voor de transistoren in een computer. Zo'n transistor is een microscopisch klein gebiedje op een computerchip die op een speciale manier is bewerkt. Op dezelfde chip liggen nog veel meer transistoren, andere elektronische componenten en verbindingsdraden. Samen vormen ze één grote, complexe elektronische schakeling: een *integrated circuit* of IC.

Chipmakers hebben allerlei manieren bedacht om steeds meer transistoren op een chip te zetten. Het aantal transistoren per chip is daardoor enorm gegroeid. Rond 1970 waren dat er circa duizend, rond 1990 een miljoen en rond 2010 een miljard (figuur 1). De rekenprestaties van computers zijn daardoor steeds beter geworden. Maar het einde van die ontwikkeling komt in zicht. Je kunt transistoren niet veel kleiner maken dan ze nu al zijn. Om nog sneller te rekenen, is een andere aanpak nodig.



figuur 1 Een microchip met miljarden transistoren.

QUANTUM COMPUTING

Techbedrijven zijn daarom gaan investeren in andere concepten zoals de quantumcomputer. In theorie kan een quantumcomputer veel sneller rekenen dan een gewone computer. Of dat in de praktijk ook zo zal gaan, is nog afwachten: het is een enorme uitdaging om een praktisch bruikbare quantumcomputer te bouwen. Maar onderzoekers boeken wel vooruitgang. Er zijn eenvoudige proefversies gebouwd die laten zien dat het concept in principe werkt.

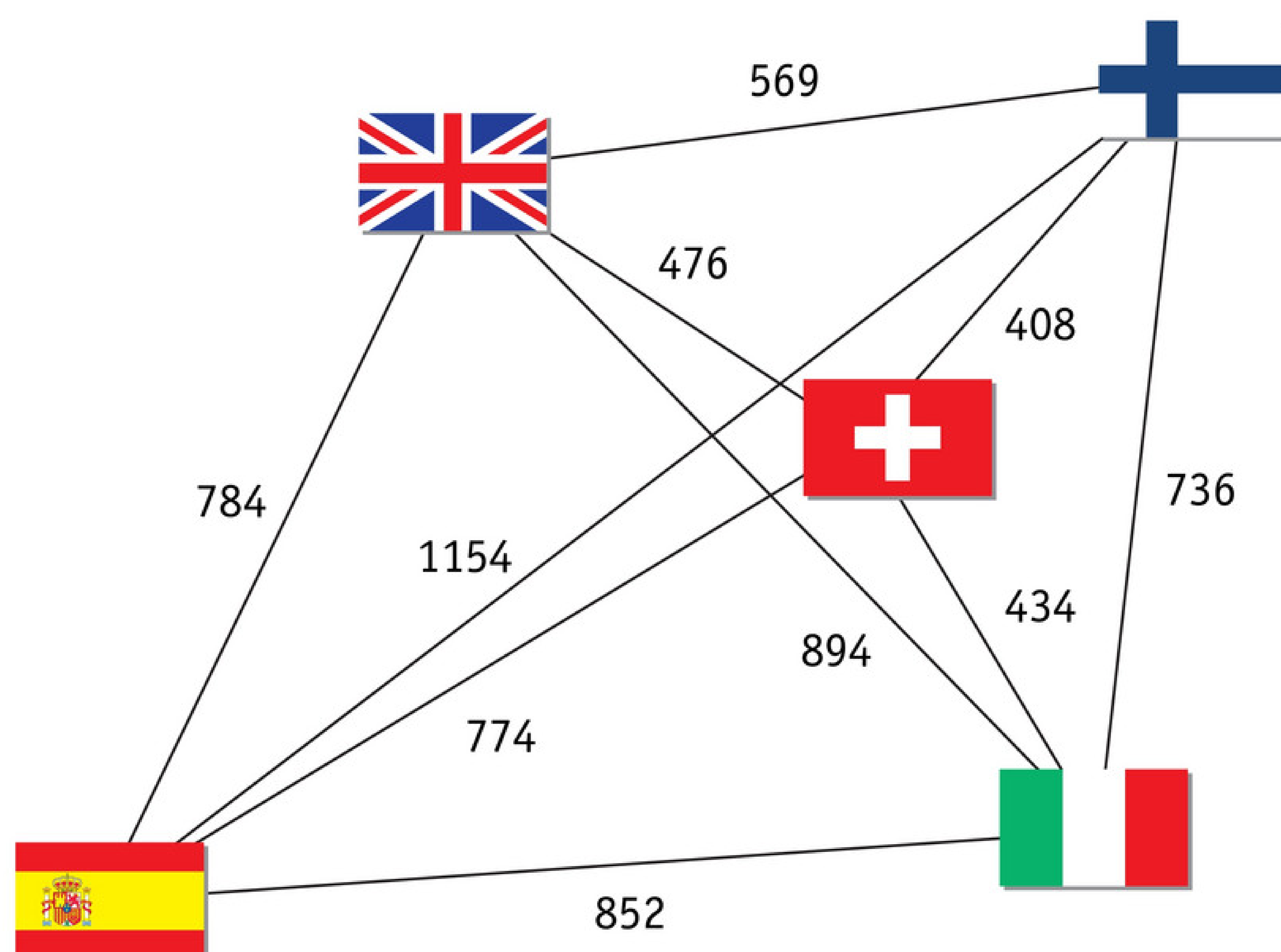
Kenmerkend voor een quantumcomputer is dat hij verschillende mogelijkheden tegelijk kan uitproberen. Als jij een uitweg uit een doolhof zoekt, probeer je een voor een de verschillende paden uit, totdat je het ene pad hebt gevonden dat naar de uitgang leidt. Je kunt daar een computerprogramma voor schrijven dat in wezen hetzelfde doet. Maar een quantumcomputer kan alle mogelijke paden tegelijk bekijken en daardoor veel sneller de uitgang vinden.

Het zoeken van de beste route is vaak van groot praktisch belang. Denk bijvoorbeeld aan een bezorgbedrijf dat elke dag duizenden pakjes moet afleveren. Zo'n bedrijf wil de verdeling van de pakjes over de bestelbusjes en de routes die de busjes rijden zo efficiënt mogelijk plannen (figuur 2). Maar het aantal mogelijkheden is zo duizelingwekkend groot dat gewone computers zich er al snel in verslikken. Een quantumcomputer kan dat in principe beter.

SUPERPOSITIE EN VERSTRENGELING

Quantumcomputers verschillen sterk van gewone computers. Dat zie je aan de manier waarop ze met informatie omgaan. De kleinste eenheid van informatie die een gewone computer kan verwerken is een *bit*: een signaal met de waarde 0 of 1 (figuur 3). In die vorm kunnen de transistoren er het best mee uit de voeten. Eén bit is genoeg om op te slaan of iemand 'ja' of 'nee' antwoordt, een enkeltje wil of een retourtje. Heb je meer informatie, dan heb je ook meer bits nodig.
Een quantumcomputer heeft ook een kleinste eenheid van informatie: de *qubit*, kort voor *quantum bit*. Maar een qubit gedraagt zich totaal anders dan een bit. Een bit is eenduidig: hij heeft de waarde 0 of de waarde 1. Een qubit kan in een toestand worden gebracht die natuurkundigen aanduiden als een *superpositie* van 0 of 1: het is geen 0 of 1, maar kan een van beide worden, met een bepaalde waarschijnlijkheid. Dit kanselement is kenmerkend voor *quantum computing*.

Qubits hebben nog een tweede, even exotische eigenschap. De bits in een gewone computer hebben elk hun eigen waarde, 0 of 1, los



figuur 2 Wat is de optimale route langs deze vijf plaatsen?



figuur 3 Gewone computers werken met bits.

“Een quantumcomputer kan onwaarschijnlijk veel mogelijkheden tegelijkertijd bekijken en daaruit de beste oplossing selecteren.”

van de andere bits. De qubits in een quantumcomputer zijn met elkaar *verstrengeld*: ze delen hun superposities met elkaar. Door die combinatie van superpositie en verstrengeling kan een quantumcomputer onwaarschijnlijk veel mogelijkheden tegelijkertijd bekijken en daaruit de beste oplossing selecteren.

DE COMPUTER VAN DE TOEKOMST?

Qubits zijn veelzijdiger dan bits, maar ze zijn ook kwetsbaar. Ze moeten ongelooflijk goed van de buitenwereld worden afgeschermd, anders raken ze hun superpositie en verstrengeling kwijt. Iedere verstoring van hun samenspel is fataal. Onderzoekers moeten hun *samples* met qubits daarom sterk afkoelen tot vlak boven het absolute nulpunt, zodat ze geen last hebben van de warmtebeweging van de omringende atomen.

Zoals het nu lijkt, zullen quantumcomputers geen alledaagse gebruiksvoorwerpen worden. Daarvoor is de technologie te ingewikkeld. Bovendien heb je hun enorme rekenkracht ook niet dagelijks nodig. Je kunt quantumcomputers het best reserveren voor problemen die gewone computers niet aankunnen.

Ook in 2040 zullen mensen nog veel met gewone computers werken. Die zijn betrouwbaar, goedkoop en voor veel doeleinden krachtig genoeg. Of quantumcomputers dan al op grote schaal beschikbaar zijn, is de vraag. Maar als ze er zijn, zul je ze waarschijnlijk alleen op afstand gebruiken, via internet of een ander netwerk. Ook dan kunnen ze je leven veranderen – bijvoorbeeld door die ene medische behandeling te vinden die perfect voor jou op maat is gemaakt (figuur 4).



figuur 4 Computers zijn ook nu al onmisbaar voor artsen.

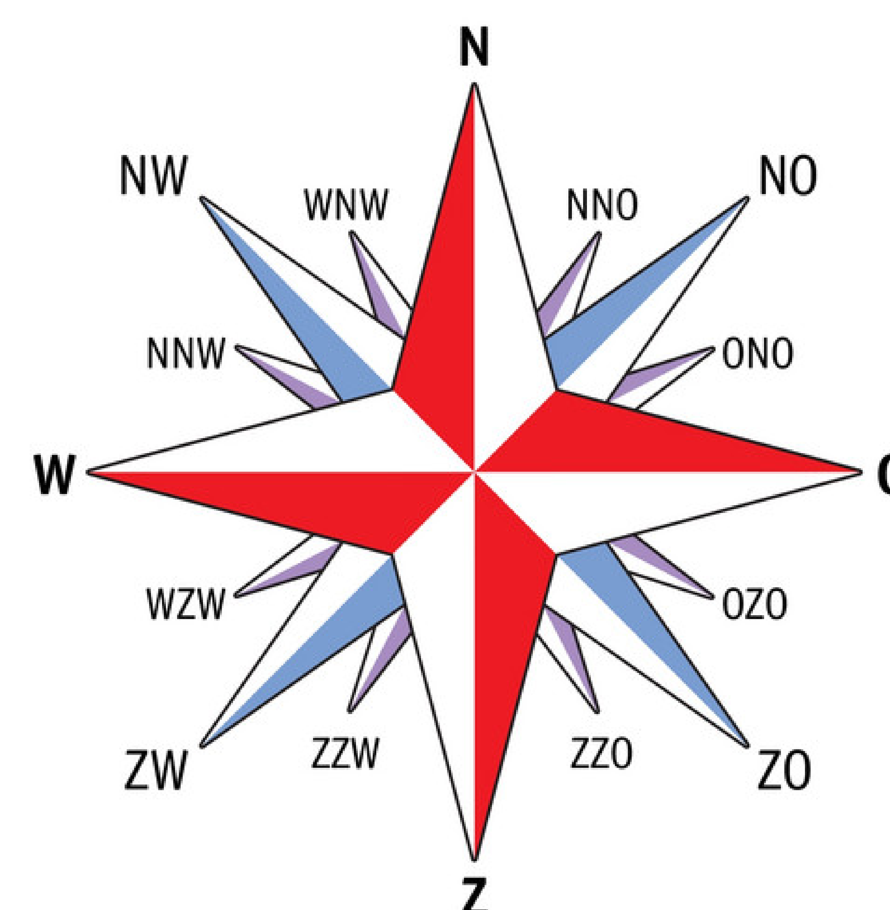
OPDRACHTEN

1 Een automatisch weerstation verzamelt informatie over het weer, zoals de temperatuur en de windrichting. Deze informatie wordt gecodeerd in bits en daarna in het computergeheugen opgeslagen.

a Om vier windrichtingen vast te leggen, heb je aan twee bits genoeg. Een mogelijke code is: N = 00, O = 01, Z = 10 en W = 11. Hoeveel windrichtingen kun je vastleggen als je drie bits tot je beschikking hebt?

b Beredeneer hoeveel bits je nodig hebt om de windrichtingen op de windroos in figuur 5 vast te leggen.

c Beredeneer hoeveel bits je nodig hebt om de windrichting vast te leggen op 1° nauwkeurig.



figuur 5 Een windroos.

2

Het handelsreizigersprobleem (vaak *travelling salesman problem* of TSP genoemd) is een bekend probleem uit de informatica. Bij dit probleem wordt een aantal steden met hun onderlinge afstanden gegeven. Jij moet de kortste route vinden waarbij je één keer langs elke stad komt en weer eindigt in de stad waar je bent begonnen.
In tabel 1 staan vijf steden. Een mogelijke route is: Amsterdam – Groningen – Maastricht – Utrecht – Zwolle – Amsterdam: 189 + 336 + 180 + 91 + 119 = 915 km

tabel 1 Afstand tussen vijf steden.

		afstand (km)
Amsterdam	Groningen	189
Amsterdam	Maastricht	214
Amsterdam	Utrecht	59
Amsterdam	Zwolle	119
Groningen	Maastricht	336
Groningen	Utrecht	188
Groningen	Zwolle	105
Maastricht	Utrecht	180
Maastricht	Zwolle	231
Utrecht	Zwolle	91

a Beredeneer hoeveel mogelijke routes er in totaal zijn voor vijf steden.
b Bepaal de kortste route. Noteer de steden in de juiste volgorde en zet het aantal kilometer erbij.
c Tegen welk probleem liep je aan toen je opdracht b beantwoordde?
d Als het aantal steden te groot wordt, lukt het gewone computers niet meer een oplossing te berekenen.
Leg uit waarom quantumcomputers in principe beter geschikt zijn voor het oplossen van dit soort problemen.
e Het vinden van de meest efficiënte route(s) kan ook praktisch van groot belang zijn. Noteer twee toepassingen die dat laten zien.

3

Ga naar www.quantum-inspire.com. Deze site biedt iedereen de kans om kennis te maken met quantum computing. Zoek daar een antwoord op de volgende vragen.
a Op welke twee manieren kun je op deze site kennismaken met quantum computing?
b Wat kun je doen met de editor en de simulator die de site jou ter beschikking stelt?
c Welk voordeel zou je ervan kunnen hebben om je bij deze website te registreren?
d Waarom willen de mensen achter deze site jou interesseren voor quantum computing?

Leerstofoverzicht

5.1 LADING EN SPANNING

ONTHOUD

- Je kunt een voorwerp van pvc elektrisch laden door met een wollen doek over het voorwerp te wrijven.
- Je kunt zien dat een voorwerp geladen is doordat het andere voorwerpen aantrekt. Je kunt zien, voelen en horen dat er vonkjes overspringen.
- Er zijn twee soorten lading: positieve lading en negatieve lading. Gelijksoortige ladingen stoten elkaar af. Niet-gelijksoortige ladingen trekken elkaar aan.
- Alleen de negatief geladen elektronen kunnen van een voorwerp naar een ander voorwerp bewegen. Een negatief geladen voorwerp heeft een overschot aan elektronen. Een positief geladen voorwerp heeft een tekort aan elektronen.
- Tussen een negatief geladen voorwerp en een positief geladen voorwerp bestaat een spanning. Als de twee voorwerpen worden verbonden door een geleidend materiaal gaat er een elektrische stroom lopen. Als er tussen een voorwerp en zijn omgeving een hoge spanning bestaat, kan er een vonk overspringen, zodat het geladen voorwerp ontlaadt.
- Accu's, dynamo's en batterijen zijn spanningsbronnen. Deze kunnen lange tijd een stroom laten lopen, terwijl de spanning constant blijft.
- Je kunt de totale hoeveelheid lading die door een draad stroomt berekenen met de formule: $Q = I \cdot t$

BEGRIPPEN

elektrisch geladen
Situatie waarin een voorwerp een elektrische lading heeft.

elektron
Negatief geladen deeltje.

negatieve lading
De lading die een (neutraal) voorwerp krijgt als het elektronen opneemt.

neutraal
Situatie waarin een voorwerp evenveel positieve als negatieve lading bevat.

positieve lading
De lading die een (neutraal) voorwerp krijgt als het elektronen afstaat.

proton
Positief geladen deeltje.

spanning
Een maat voor hoeveel elektrische energie elk deeltje met zich meedraagt.

statisch
Situatie waarin een voorwerp een elektrische lading heeft.

5.2 WEERSTAND

ONTHOUD

- Als stroom moeilijk door een voorwerp gaat, dan heeft dat apparaat een grote weerstand.
- Je kunt de weerstand (R), de spanning (U) en de stroomsterkte (I) berekenen met de formule: $R = \frac{U}{I}$
- Als de spanning over en de stroomsterkte door een component recht evenredig zijn, verandert de weerstand niet; je zegt dan dat het voorwerp voldoet aan de wet van Ohm.
- Soms krijgen voorwerpen waar een stroom doorheen gaat een hoge temperatuur. Hierdoor kan de stroom minder gemakkelijk door het voorwerp heen lopen. De weerstand van het voorwerp neemt dan toe. De wet van Ohm gaat dan niet meer op. Zolang de temperatuurstijging beperkt blijft, kun je de toename van de weerstand verwaarlozen.
- Als de temperatuur van een NTC stijgt, neemt zijn weerstand af. De NTC laat dan meer stroom door.
- Als er meer licht op een LDR valt, neemt zijn weerstand af. De LDR laat dan meer stroom door.
- Een regelbare weerstand bestaat uit een opgerolde draad en een schuif waarmee je de grootte van de weerstand kunt instellen.

BEGRIPPEN

(I,U)-diagram
Grafiek waarin de stroomsterkte is uitgezet tegen de spanning.

LDR
Variabele weerstand die gevoelig is voor veranderingen in de hoeveelheid licht.

NTC
Variabele weerstand die bij een lagere temperatuur een hogere weerstand krijgt.

ohmse weerstand
Een weerstand waarvan de weerstand bij elke spanning even groot is.

weerstand
De eigenschap van een component die bepaalt hoe gemakkelijk elektrische stroom erdoorheen kan gaan.

wet van Ohm
Regel die stelt: de spanning (over de draad) en de stroomsterkte (door de draad) zijn recht evenredig.

5.3 WEERSTANDEN SCHAKELEN

ONTHOUD

- 'Weerstand' kan verwijzen naar een component in een schakeling en naar een natuurkundige grootheid.
- De totale weerstand in een serieschakeling wordt berekend door alle weerstanden in die schakeling bij elkaar op te tellen. In formulevorm: $R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + ...$
- De totale spanning over een serieschakeling verdeelt zich over de verschillende weerstanden in die schakeling. In formulevorm: $U_{tot} = U_1 + U_2 + U_3 + ...$
- De spanning over iedere weerstand bereken je door de weerstand te vermenigvuldigen met de stroomsterkte. In formulevorm: $U_1 = I \cdot R_1$, $U_2 = I \cdot R_2$, enzovoort.
- De totale weerstand in een parallelschakeling wordt berekend met de formule: $\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$

- De totale stroomsterkte in een parallelschakeling wordt berekend door alle stroomsterkten van de vertakkingen bij elkaar op te tellen. In formulevorm: $I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + ...$

BEGRIPPEN

totale stroomsterkte
De stroomsterkte in het niet-vertakte gedeelte van een parallelschakeling.

vervangingsweerstand
Term voor de totale weerstand als meerdere weerstanden in serie of parallel geschakeld zijn.

5.4 AUTOMATISCHE SCHAKELINGEN

ONTHOUD

- Iedere automatische schakeling bestaat uit een sensor, een schakelaar en een actuator.
- De sensor produceert een elektrisch signaal. De schakelaar reageert op dit signaal door de actuator in- of juist uit te schakelen.
- Als er een stroom loopt van de basis naar de emitter, dan staat een transistor in de AAN-stand. Er loopt dan ook een stroom van de collector naar de emitter.
- Als er geen stroom loopt van de basis naar de emitter, dan staat de transistor in de UIT-stand. Er loopt dan ook geen stroom van de collector naar de emitter.

BEGRIPPEN

actuator
Onderdeel van een schakeling dat de gewenste actie uitvoert.

basis
Een van de drie aansluitpunten van een transistor. De grootte van de stroom door de basis bepaalt of de collector stroom doorlaat.

collector
Een van de drie aansluitpunten van een transistor. Of er stroom door de collector loopt, wordt bepaald door de grootte van de stroom die door de basis loopt.

emitter
Een van de drie aansluitpunten van een transistor.

schakelaar
Onderdeel van een schakeling dat de stroom in- of uitschakelt.

sensor
Onderdeel van een schakeling dat door middel van een elektrisch signaal informatie doorgeeft over de omgeving.

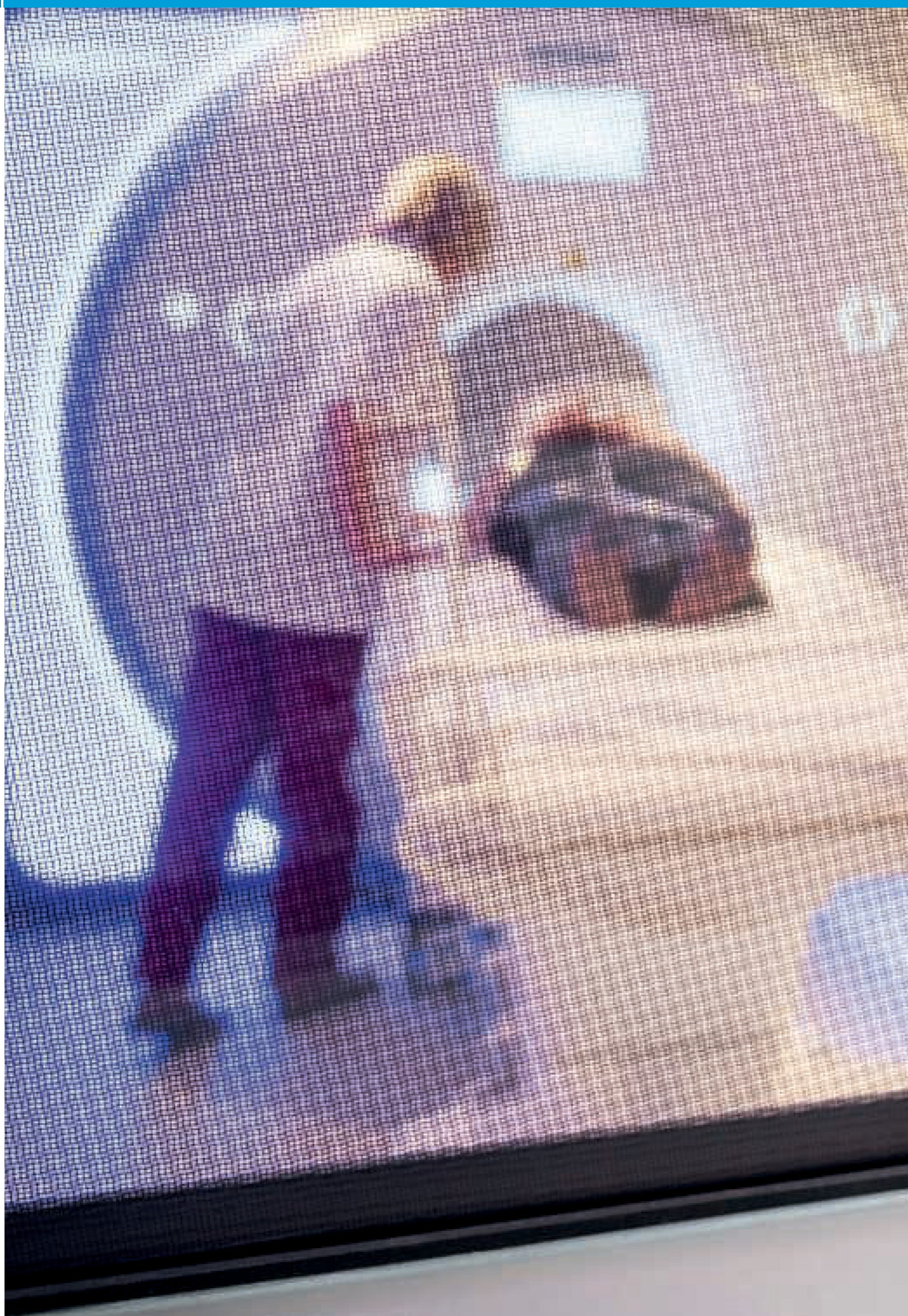
transistor
Onderdeel van een schakeling dat fungeert als een automatische schakelaar.



Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.

6 Straling

BEELDEN MAKEN MET STRALING
In het ziekenhuis worden verschillende beeldvormende technieken gebruikt. Daarmee worden afbeeldingen gemaakt zoals infraroodopnames, röntgenfoto's en verschillende soorten scans. Hiermee kunnen artsen zich een beeld vormen van de situatie in een lichaam.




Patient Applications Transfer Edit View Image Tools Scroll Evaluation System Options Help
Waiting for scan instructions.
Stimu=NM SAR=NM

Wat weet je al over licht en straling?

LEERDOELEN

1 Je kunt uitleggen wat de frequentie van een trilling is.
2 Je kunt uitleggen wat een spectrum is en hoe je een spectrum zichtbaar maakt.
3 Je kunt aangeven waar infrarode en ultraviolette straling in het spectrum liggen.
4 Je kunt lichtstralen tekenen.

In deel 1-2 van Nova nask heb je al een aantal dingen geleerd over licht en straling. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

OPDRACHTEN VOORKENNIS

1 Leg uit wat de frequentie van een trilling is.

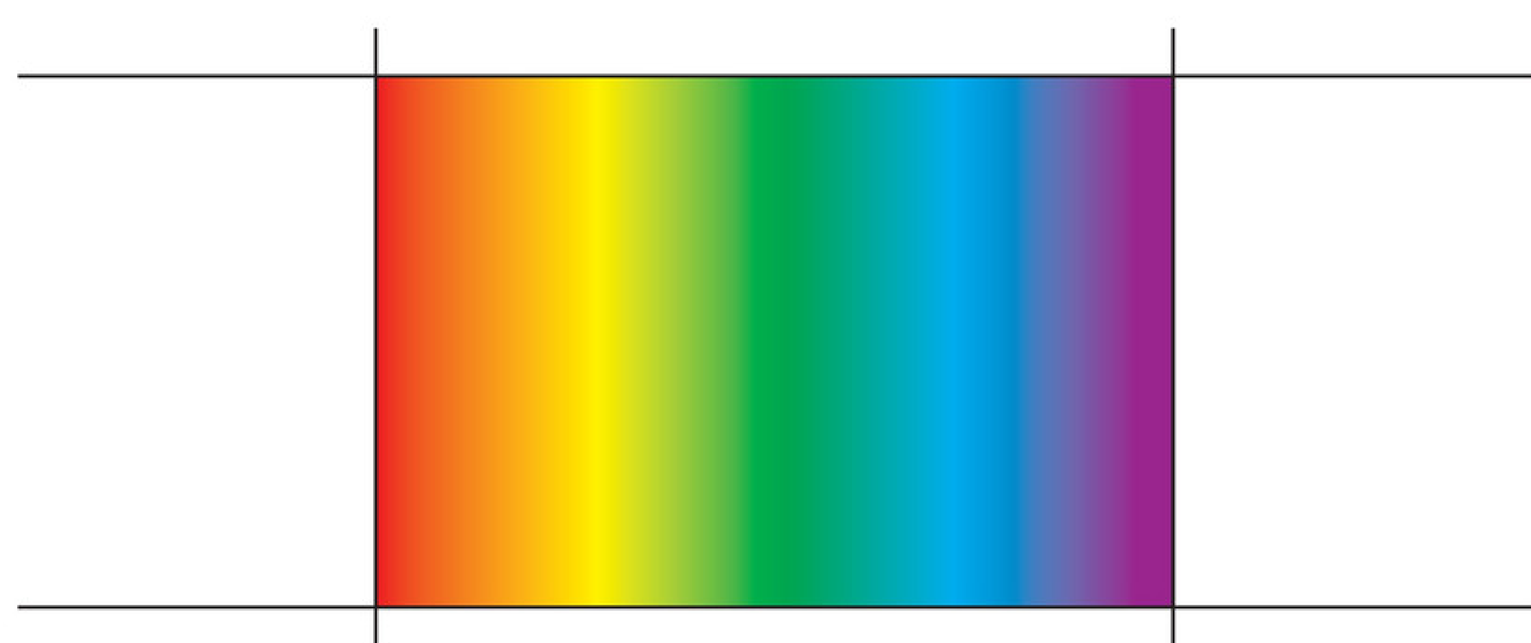
....

....

2 Wat is een spectrum?

○ A een kunstmatige, zeer felle lichtbron
○ B een prisma met een driehoekige doorsnede
○ C licht dat is gesplitst in een reeks kleuren

3 Jouw ogen zijn alleen gevoelig voor zichtbaar licht. Infrarode straling (ir) en ultraviolette straling (uv) kun je niet zien.
Geef in figuur 1 de juiste plaats van ir- en uv-straling aan.



figuur 1 Zichtbaar licht.

4 De ledlamp in figuur 2 straalt licht uit.
Teken in de figuur minimaal tien lichtstralen die dit weergeven.



figuur 2 Een ledlamp.



Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*. Daar vind je ook filmpjes over de belangrijkste leerdoelen voor dit hoofdstuk.

1 Elektromagnetische straling

LEERDOELEN

6.1.1 Je kunt beschrijven hoe een mobiele telefoon informatie verzendt en ontvangt met behulp van elektromagnetische golven.
6.1.2 Je kunt drie kenmerken van elektromagnetische straling noemen en toelichten.
6.1.3 Je kunt berekeningen maken met golflengte, lichtsnelheid en frequentie.
6.1.4 Je kunt in het elektromagnetisch spectrum verschillende soorten elektromagnetische straling ordenen.
6.1.5 Je kunt de effecten beschrijven van ioniserende en niet-ioniserende straling.
PLUS 6.1.6 Je kunt het deeltjeskarakter van elektromagnetische straling beschrijven en toelichten met behulp van de formule van Planck.

Veel mensen denken bij het woord 'straling' aan kernenergie of radioactiviteit. Maar er zijn veel meer soorten straling. Je telefoon is ook een stralingsbron, net als een magnetron en een afstandsbediening. Zelfs je lichaam is een stralingsbron: het zendt voortdurend infrarode straling uit.

ZENDEN EN ONTVANGEN

Je kunt je telefoon alleen gebruiken als je bereik hebt. Er moet een zendmast in de buurt zijn waarmee je telefoon kan communiceren. Tussen de antenne van je telefoon en de antenne op de zendmast wordt dan voortdurend informatie uitgewisseld.

Als je telefoon aan het zenden is, loopt er een wisselstroom door de antenne (figuur 1). De elektronen in de antenne bewegen met een hoge frequentie heen en weer. Door die beweging ontstaan er **elektromagnetische golven** die met een zeer hoge snelheid bij de antenne vandaan bewegen.

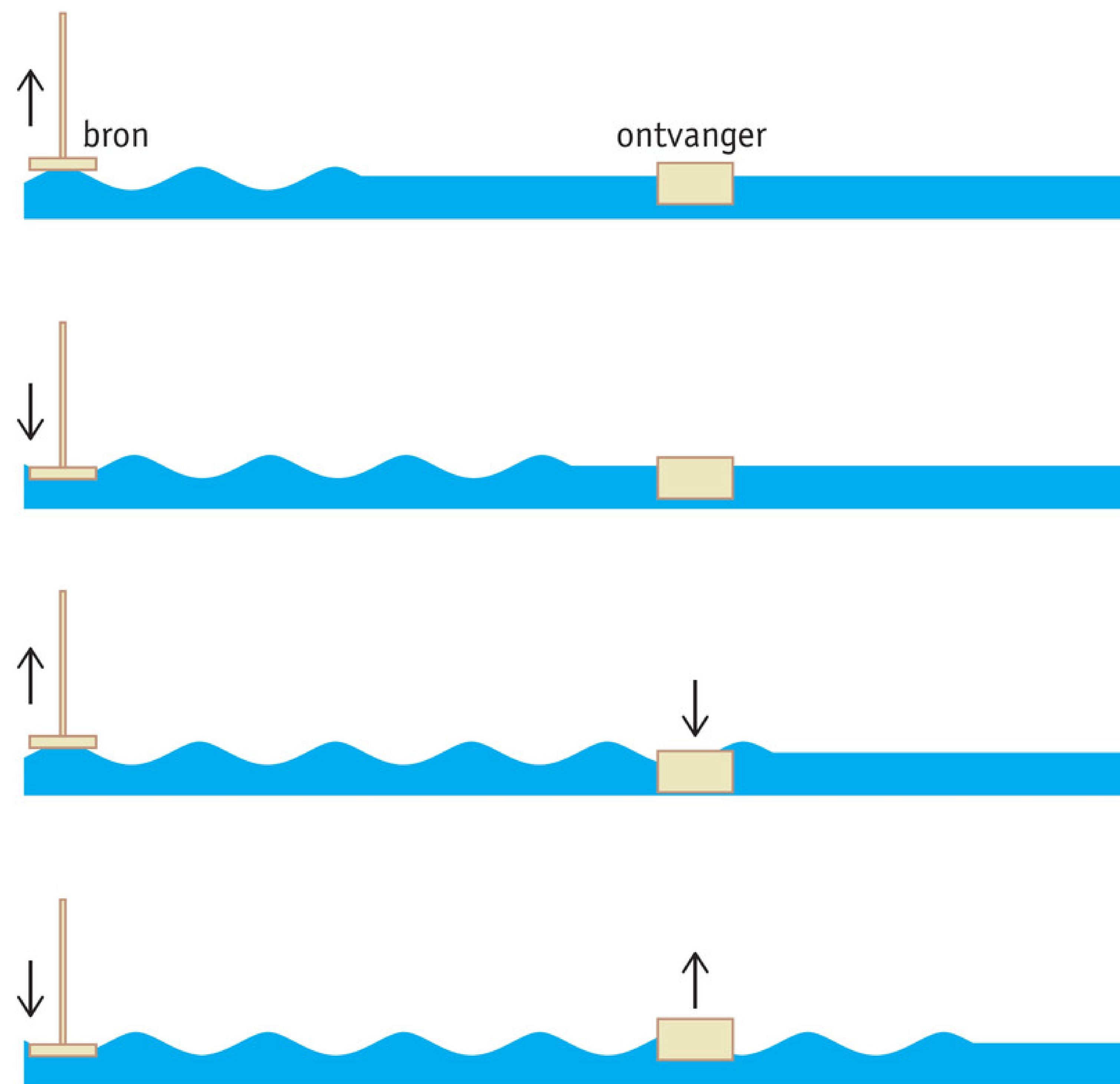


figuur 1 Zenden met je telefoon.

Als de elektromagnetische golven bij de zendmast aankomen, komen de elektronen daar ook in beweging: de elektronen in de antenne van de zendmast gaan in hetzelfde tempo op en neer bewegen als de elektronen in de telefoonantenne. Er ontstaat een wisselstroom met dezelfde frequentie als de wisselstroom in de telefoonantenne. Op die manier kunnen signalen worden doorgegeven van de telefoon naar de zendmast.

GOLFLENGTE EN FREQUENTIE

Elektromagnetische golven bewegen net als watergolven van de bron af. In figuur 2 is getekend hoe dat bij watergolven gaat. De ‘bron’ is een voorwerp dat op en neer gaat en zo het water in beweging brengt. De ‘ontvanger’ is een houten blokje dat op en neer gaat bewegen als de golven bij het blokje aankomen.



figuur 2 Golven planten zich voort van bron naar ontvanger.

Behalve overeenkomsten zijn er ook grote verschillen tussen watergolven en elektromagnetische golven:

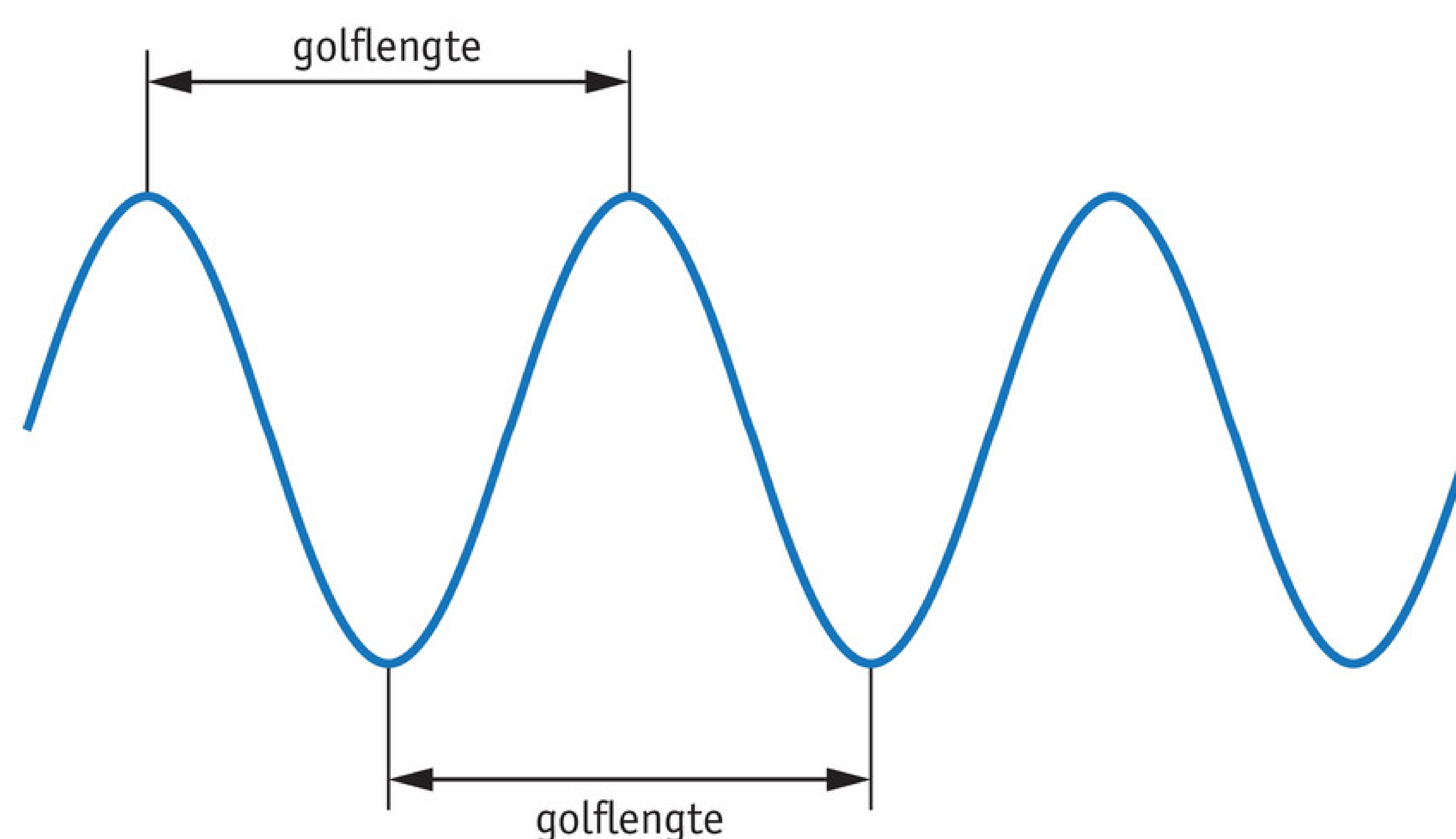
- Elektromagnetische golven bewegen niet in één vlak zoals een watergolf, maar in alle richtingen.
- Elektromagnetische golven zijn geen trillingen in een stof zoals water of lucht, maar planten zich zelfstandig voort, ook door een vacuüm.
- Elektromagnetische golven hebben in vacuüm altijd dezelfde snelheid: 299 792 458 m/s, afgerond $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s. Deze snelheid wordt de **lichtsnelheid** genoemd en heeft een eigen symbool: *c*.

Het aantal golven dat in 1 seconde voorbijkomt, noem je de **frequentie** van de golf. De afstand tussen twee golftoppen (of golfdalen) noem je de **golflengte** (figuur 3). Hiervoor wordt λ, de Griekse letter labda, als symbool gebruikt. Je kunt de golflengte berekenen door de snelheid van de golf (de afgelegde afstand per seconde) te delen door de frequentie (het aantal golven per seconde). Zo vind je de afstand per golf, ofwel de golflengte. In formulevorm:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Hierin is:

- λ de golflengte in meter (m);
- c de lichtsnelheid in meter per seconde (m/s);
- f de frequentie in hertz (Hz).



figuur 3 Zo kun je de golflengte λ bepalen.

Bij elke frequentie hoort dus één golflengte (in vacuüm). Een telefoon gebruikt golven met een frequentie van 800 tot 1800 MHz. Dat komt overeen met een golflengte van 16 tot 38 cm. Licht is ook een elektromagnetisch golfverschijnsel, maar met veel kleinere golflengten. Dit soort korte golflengten wordt meestal gegeven in nanometers. Een nanometer is een miljardste meter (1 nm = 10^{-9} m).

VOORBEELDOPDRACHT 1

Een laser straalt blauw licht uit met een golflengte van 470 nm.
Bereken de frequentie van dit blauwe licht.

gegevens $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s
$\lambda = 470$ nm $= 470 \cdot 10^{-9}$ m

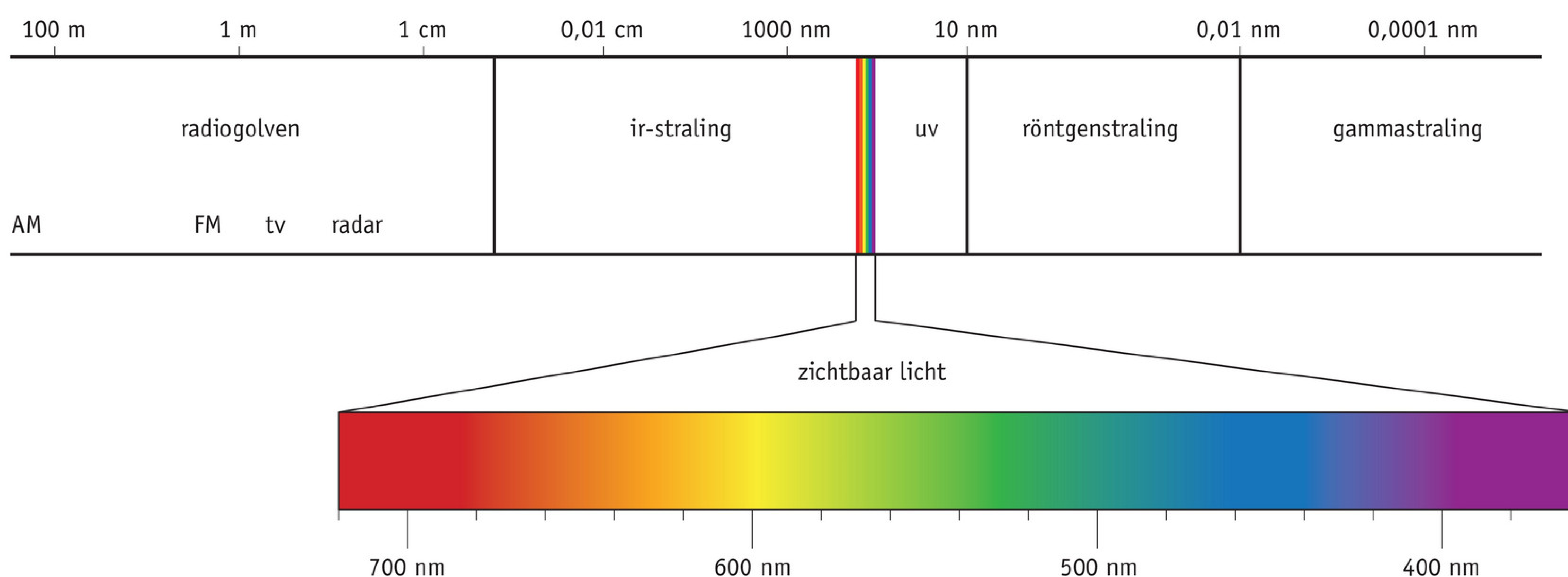
gevraagd $f = ?$

uitwerking $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3{,}0 \cdot 10^8}{470 \cdot 10^{-9}} = 6{,}4 \cdot 10^{14}$ Hz

HET ELEKTROMAGNETISCH SPECTRUM

Met de theorie over elektromagnetische golven kun je uiteenlopende soorten straling beschrijven. De theorie geldt niet alleen voor radiogolven en licht, maar ook voor infrarode straling (ir-straling), ultraviolette straling (uv-straling), röntgenstraling en gammastraling.

In figuur 4 zijn de soorten elektromagnetische straling geordend op golflengte. Er ontstaat dan een elektromagnetisch **spectrum**, van radiogolven tot gammastraling. Het spectrum van zichtbaar licht is hiervan maar een klein onderdeel; het loopt van 780 nm (dieprood) tot 380 nm (ver violet).



figuur 4 Het elektromagnetisch spectrum: van radiogolven tot gammastraling.

De eigenschappen van elektromagnetische straling worden bepaald door de golflengte. Je ziet dat in het spectrum van licht (figuur 4). Elke spectraalkleur heeft zijn eigen golflengte (in vacuüm). Rood licht heeft de grootste golflengte, violet licht de kleinste. Als je de golflengte kent, weet je ook welke kleur het licht heeft.

Licht is de enige soort elektromagnetische straling die je kunt zien. Je ogen zijn gevoelig voor de kleuren van 'gewoon' licht: van rood tot violet. Alle andere vormen van straling zijn voor mensen onzichtbaar. Om ze zichtbaar te maken, heb je speciale instrumenten nodig, zoals een infraroodcamera (figuur 5).



figuur 5 Een infraroodcamera maakt een *false color image* van een radiator. Rood staat voor veel ir-straling (dus heet), blauw voor weinig ir-straling (dus koel).

EFFECTEN VAN STRALING

Als straling wordt geabsorbeerd, komt de energie van de straling vrij. Dat merk je als je met een zwart T-shirt aan in de felle zon zit: door de straling (infrarood en licht) die op je T-shirt valt, krijg je het snel warm. Doordat stralingsenergie wordt omgezet in warmte, stijgt de temperatuur van je huid. Hiervoor is verhoudingsgewijs veel energie nodig.

Sommige soorten straling hebben nog een ander effect: hun stralingsenergie kan stoffen afbreken. Dat merk je bijvoorbeeld als je een vel gekleurd papier een aantal dagen in de zon legt. De ultraviolette straling in het zonlicht maakt de kleurstofmoleculen kapot. Daardoor verbleken de kleuren (figuur 6). Uv-straling kan ook schade veroorzaken aan het DNA (het erfelijk materiaal) in je huidcellen.

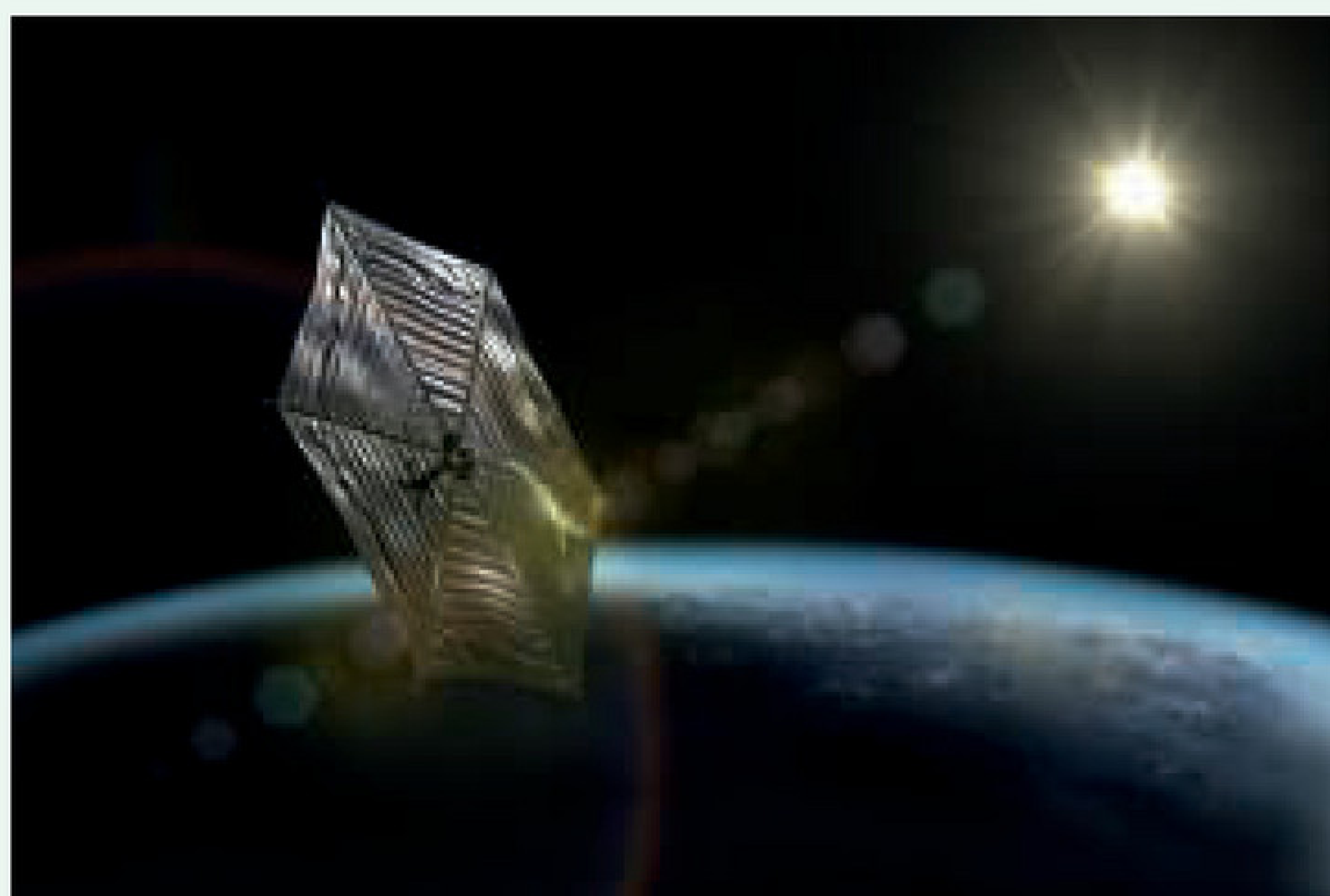


figuur 6 Een proef met uv-straling: na twee weken in de zon is het papier zichtbaar verkleurd.

Straling die moleculen kapot kan maken, wordt **ioniserende straling** genoemd. Radiogolven, ir-straling en licht zijn niet ioniserend. Uv-straling is zwak ioniserend en röntgenstraling en gammastraling zijn sterk ioniserend. Een uiterst kleine hoeveelheid röntgen- of gammastraling kan daardoor al gezondheidsschade veroorzaken. Daarom moet je met deze vormen van straling erg voorzichtig zijn.

PLUS FOTONEN

In figuur 7 zie je een zonnezeil: een ruimteschip dat voortbeweegt doordat zonnestralen tegen het zeil 'botsen'. Een aantal van deze ruimtezeilen is al met succes gelanceerd. Dat het zonnezeil gaat bewegen als er licht op valt, is minder vanzelfsprekend dan het lijkt: licht heeft namelijk geen massa. Als een lichte pingpongbal tegen een stilliggende biljartbal botst, is het effect minimaal, dus als er 'iets' zonder massa tegen de biljartbal botst, verwacht je dat er helemaal niets zal gebeuren.



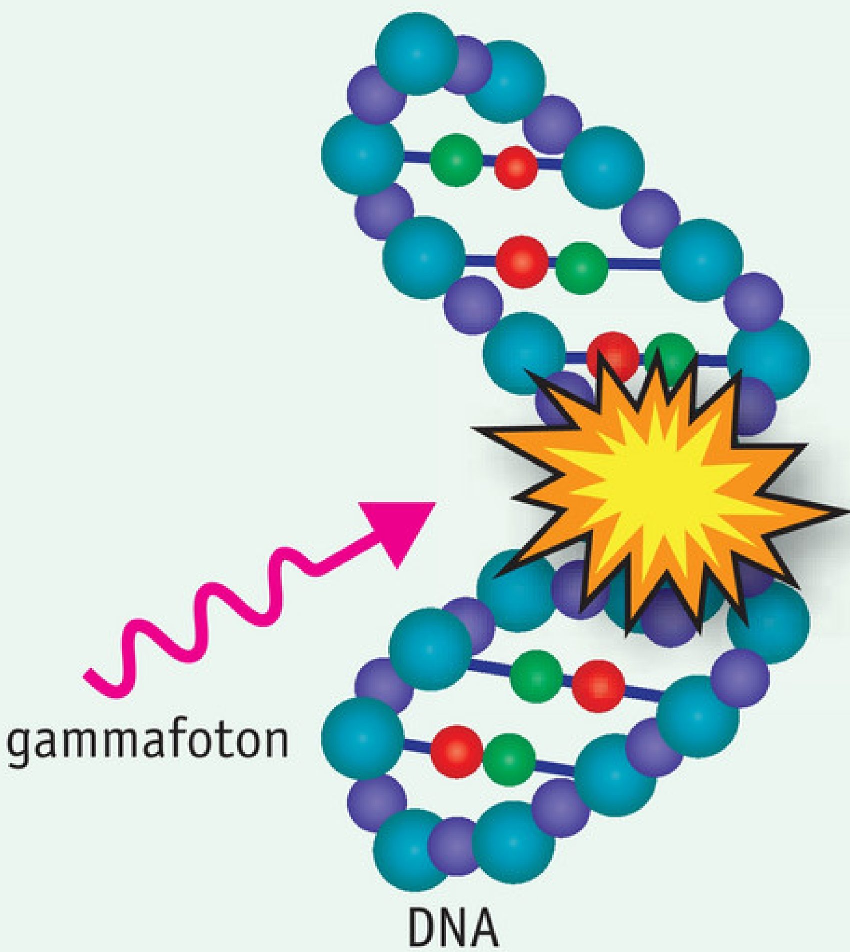
figuur 7 Een zonnezeil beweegt voortgedreven door zonlicht door de ruimte.

De voortstuwing van een zonnezeil kun je alleen verklaren met de quantumtheorie. Rond 1900 stelde de Duitse natuurkundige Max Planck voor om elektromagnetische straling te zien als een soort deeltjes of ‘energiepakketjes’. Deze kregen de naam **foton** (van het Griekse *phōs* = licht). De kracht van fotonen die botsen, hangt volgens deze theorie alleen af van de energie van deze fotonen. De energie van een foton wordt op haar beurt bepaald door de frequentie:

$$E = h \cdot f$$

Hierin is:
- E de energie van het foton in joule (J);
- h een constante (de constante van Planck) in joule seconde (J s);
- f de frequentie in hertz (Hz).

Natuurkundigen weten nu dat licht eigenschappen heeft van zowel een deeltje als een golf. Bij gammastraling kun je het ‘deeltjeskarakter’ het best zien. Een gammafoton heeft een hoge frequentie en dus veel energie en is daardoor gemakkelijk in staat DNA-moleculen in je lichaam kapot te maken door ertegenaan te ‘botsen’ (figuur 8).



figuur 8 Een gammafoton beschadigt een DNA-molecuul.

In tabel 1 zie je de (typische) energie van enkele soorten straling. Hoe hoger de energie, hoe meer je het deeltjeskarakter van de straling zult merken, dus hoe gevaarlijker de straling.

tabel 1 Enkele soorten straling en de orde van grootte van de energie van de fotonen.

frequentie (Hz)	energie (J)
radiogolven	10^{-23}
licht	10^{-19}
röntgen	10^{-16}
gamma	10^{-14}

 **Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.**

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Hoe groot is de snelheid van elektromagnetische golven in vacuüm?

b Welke soorten straling hebben een langere golflengte dan licht?

- ☐ A radiogolven
- ☐ B infrarode straling
- ☐ C ultraviolette straling
- ☐ D röntgenstraling

c Welk soort straling heeft een golflengte tussen 10 nm en 0,01 nm?

- ○ A radiogolven
- ○ B infrarode straling
- ○ C ultraviolette straling
- ○ D röntgenstraling

d Welk soort elektromagnetische straling heeft een zwakke ioniserende werking?

- ○ A radiogolven
- ○ B infrarode straling
- ○ C ultraviolette straling
- ○ D röntgenstraling

2 In deze paragraaf heb je een formule geleerd die het verband weergeeft tussen de frequentie, de golflengte en de snelheid van een elektromagnetische golf.
Noteer deze formule:

a in de vorm die je gebruikt om de frequentie te berekenen;

b in de vorm die je gebruikt om de golflengte te berekenen.

TOEPASSING

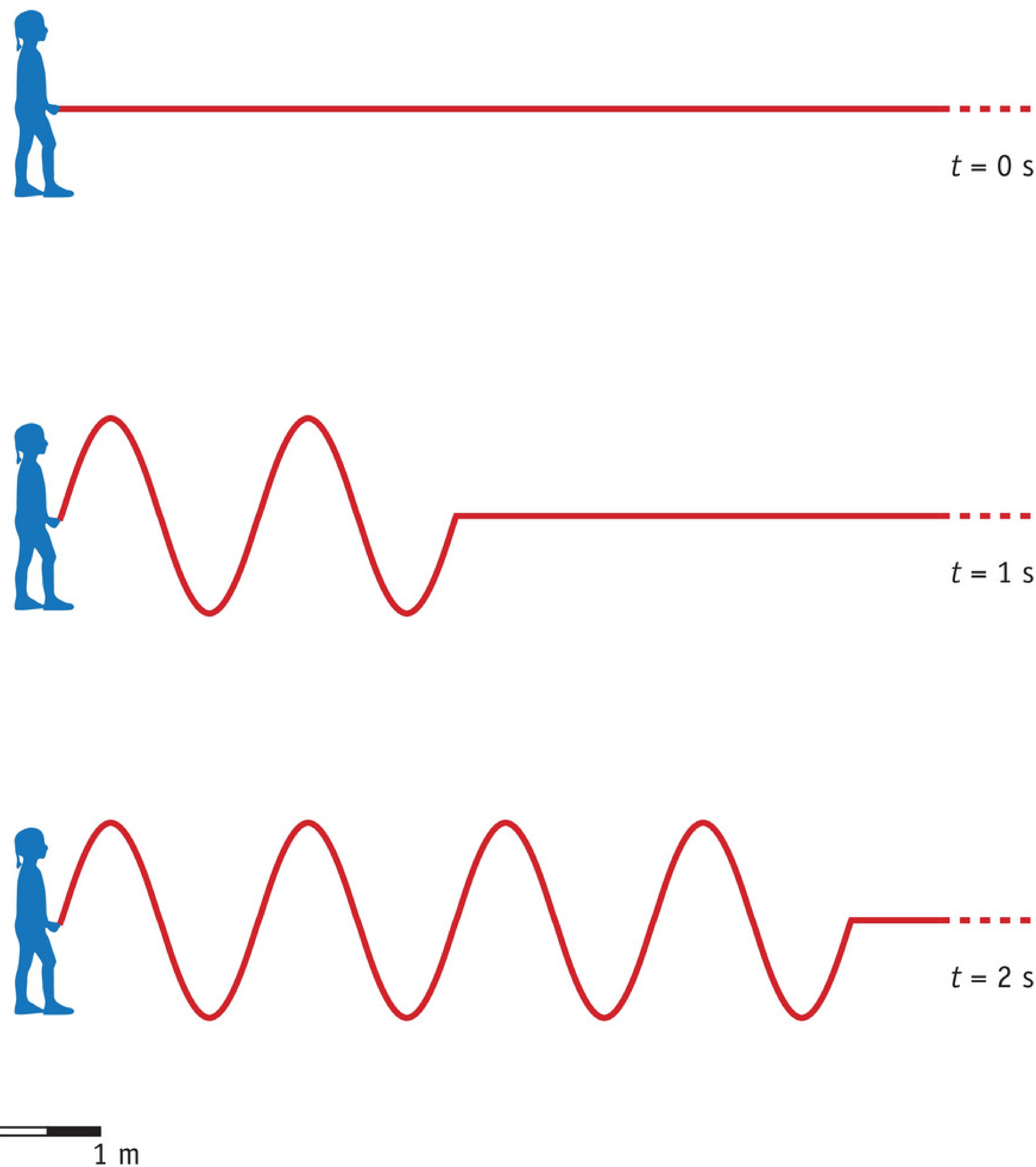
3 In de wereld om je heen kom je allerlei stralingsbronnen tegen.
Vul de ontbrekende gegevens in tabel 2 in.

tabel 2 Vijf stralingsbronnen.

voorbeeld van een stralingsbron	soort straling
	radiogolven
radiator van een cv	
	(zichtbaar) licht
	ultraviolette straling
röntgenapparaat	

4 Ilse veroorzaakt een golfbeweging in een springtouw door het ene uiteinde op en neer te bewegen. Het andere uiteinde heeft ze aan een muur vastgemaakt.
Bepaal met behulp van de gegevens in figuur 9:

a de frequentie.
b de golflengte. Let ook op de aangegeven schaal.
c de golfsnelheid.



figuur 9 Een golf in een touw.

5 Een radiosignaal doet er tussen de 3 en 21 min over om de afstand tussen de planeet Mars en de aarde te overbruggen.

a Leg uit waardoor het komt dat de benodigde tijd zo verschillend is.
b Op 6 augustus 2012 landde het Marswagentje *Curiosity* op Mars. Het signaal van *Curiosity* kwam pas na 13 min en 48 s op aarde aan.
Bereken hoe groot de afstand tussen Mars en de aarde op dat moment was. Geef het antwoord in miljoenen kilometers.

★ 6 Myriam leest op de website van Radio Rijnmond: "Sinds 1 juli zenden wij uit op 93,4 MHz."

a Bereken de golflengte van de radiogolven.
b Leg uit of Radio Rijnmond een AM- of een FM-zender is.
c Bij radio onderscheid je uitzendingen op de lange golf, de middengolf en de korte golf.
Bepaal met figuur 4 op welke golf Radio Rijnmond uitzendt.

7 Bekijk de infraroodfoto in figuur 10.

a Wat zijn de lichaamsdelen van de hond met de hoogste temperatuur?

b De temperatuur van deze lichaamsdelen is ongeveer

.... °C.

c Wat is het lichaamsdeel met de laagste temperatuur?

d Leg uit waarom de beelden van een infraroodcamera 's nachts vaak duidelijker zijn dan overdag.



figuur 10 Een hond in infrarood.

8 De straling die een laser uitzendt heeft één vaste golflengte. In tabel 3 zie je zes soorten lasers met hun golflengte. In figuur 4 zie je de eigenschappen en golflengten van de soorten straling.

a Noteer in tabel 3 bij elke laser de soort straling.

b Noteer in tabel 3 de kleur van het licht bij de lasers die zichtbaar licht uitzenden.

tabel 3 Zes soorten lasers.

soort laser	golflengte (nm)	soort straling	kleur
argon	1090		
helium-cadmium	442		
koper	511		
krypton-fluoride	248		
robijn	694		
stikstof	337		

★ 9 Met welk soort straling je hebt te maken, kun je zien aan de golflengte.

a Zet de juiste soort straling bij de golflengte van:

A	10 cm	○	○	1	groen licht
B	0,01 cm	○	○	2	ir-straling
C	520 nm	○	○	3	radiogolven
D	1 nm	○	○	4	röntgenstraling

b Bereken de frequentie van de straling met een golflengte van 10 cm.

10 In figuur 11 staat een gedeelte uit een rapport van de brandweer. Hierin worden de risico's beschreven van een ongeval met een tankwagen met lpg, *liquid petrol gas*.

a Leg uit waardoor een tank kapot kan gaan als hij wordt 'aangestraald door een brand'.

b De tekst heeft het over 'hittestraling'. Om wat voor soort straling gaat het dan?

c Waarom is dit soort straling in grote hoeveelheden gevaarlijk en soms zelfs dodelijk?

d Waardoor komt het dat het risico afhankelijk is van de afstand tot de stralingsbron?

Lpg-explosie

In het slechtste geval wordt de tankwagen aangestraald door brand, waarna de tankwand het begeeft, de brandbare vloeistof ontsteekt en een grote vuurbal ontstaat met hittestraling tot gevolg. Dit wordt een *bleve* genoemd: *boiling liquid expanding vapour explosion*. Tot een afstand van maximaal 230 meter zullen direct slachtoffers vallen door de intense hittestraling en tot op een afstand van 600 meter kunnen doden en gewonden vallen als gevolg van brandwonden.



figuur 11 De risico's van een lpg-explosie.



Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS FOTONEN

11 Beantwoord de volgende vragen.

a Wat is een foton volgens de theorie van Max Planck?

b Een natriumlamp voor straatverlichting zendt licht uit met een golflengte van 589 nm. Bereken de frequentie.

c Bereken de energie van een foton, uitgezonden door de natriumlamp. Gebruik hierbij de constante van Planck: $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J s.

d De natriumlamp zendt $4{,}44 \cdot 10^{19}$ fotonen per seconde uit. Bereken het vermogen van de natriumlamp.

e Als je lichaam een tiental joule stralingsenergie van gammafotonen absorbeert, kan dit dodelijk zijn.
Judith zegt: "Als ik lang genoeg onder de natriumlamp ga staan, dan absorbeer ik op een gegeven moment net zoveel energie, dus het is gevaarlijk om lang onder de natriumlamp te staan." Welke denkfout maakt Judith?

12 Een foton valt op het zonnezeil in figuur 7 en kaatst terug in dezelfde richting als waar het vandaan kwam. Het zeil gaat na de botsing iets sneller bewegen, doordat het foton energie overdraagt op het zeil. Hierbij verandert de golflengte van het foton een beetje.

a Leg uit of de golflengte van het foton iets groter of iets kleiner is geworden na de botsing.

b Op het zonnezeil valt op een gegeven moment een stralingsvermogen van $1{,}3 \cdot 10^{3}$ W per vierkante meter. De oppervlakte van het zonnezeil is 750 m^2. De invallende fotonen hebben gemiddeld een energie van $3{,}5 \cdot 10^{-19}$ J.
Bereken het aantal fotonen dat per seconde invalt op het zonnezeil.

2 Licht en lenzen

LEERDOELEN

6.2.1 Je kunt beschrijven hoe een positieve lens een evenwijdige lichtbundel breekt.
6.2.2 Je kunt het verschil toelichten tussen een scherpe en een onscherpe foto.
6.2.3 Je kunt de voorwerpsafstand en de beeldafstand in een tekening aanwijzen.
6.2.4 Je kunt beschrijven hoe de twee constructiestralen voor de lens en na de lens lopen.
6.2.5 Je kunt met behulp van de twee constructiestralen bepalen waar het beeld ontstaat.
PLUS 6.2.6 Je kunt de lichtbreking door een lens uitleggen met de wet van Snellius en toelichten met berekeningen.

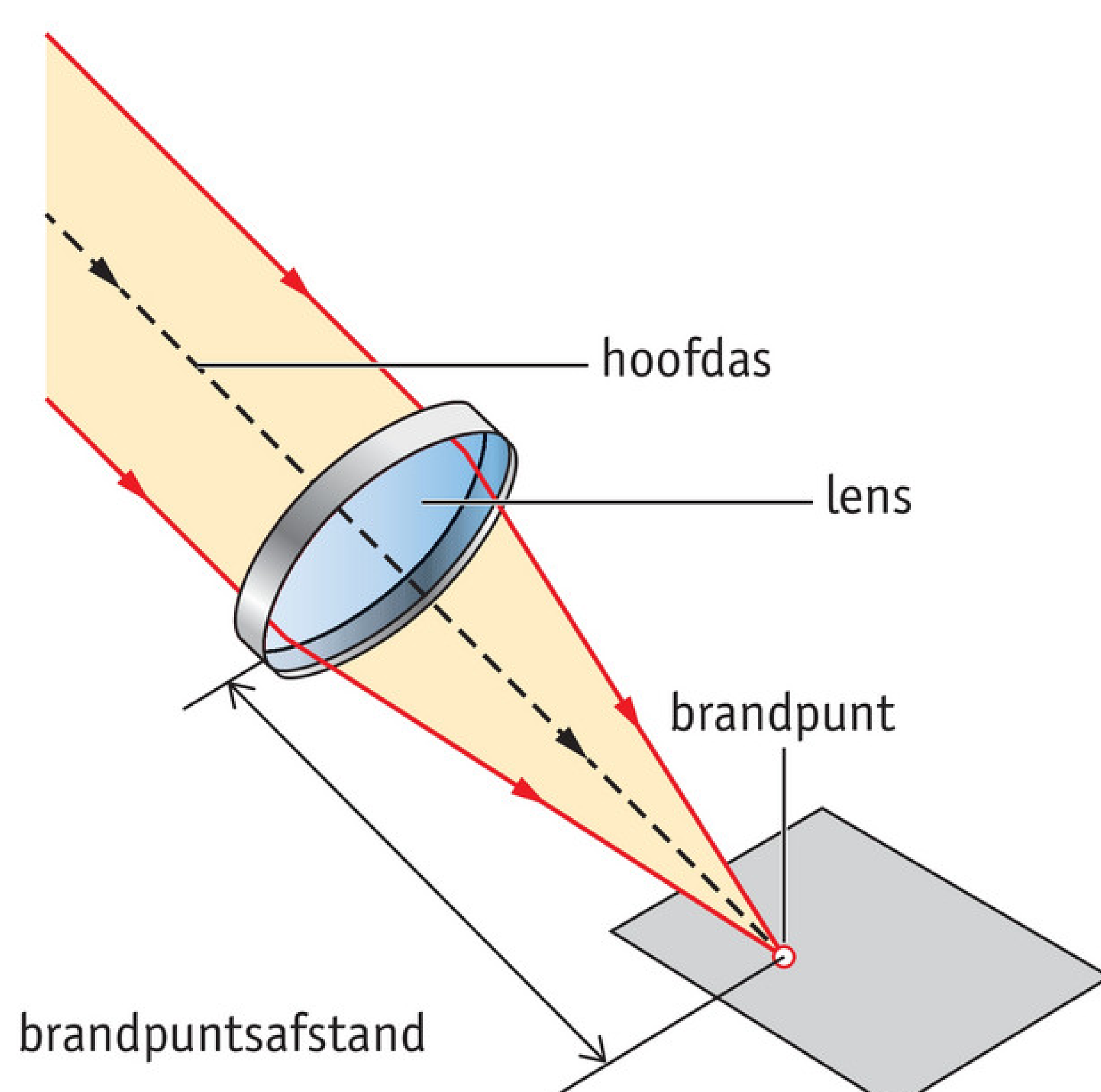
Lenzen kom je in allerlei apparaten tegen: camera's, verrekijkers, beamers en telefoons. De glazen in een bril zijn ook lenzen, net als contactlenzen en de 'natuurlijke' lenzen in je ogen. Dankzij lenzen kun je de wereld om je heen scherp zien en beelden van die wereld vastleggen in foto's en filmpjes.

LICHTBREKING BIJ EEN LENS

PROEF 1

Licht beweegt langs rechte lijnen. Maar als licht onder een hoek op een stuk glas of een andere doorzichtige stof valt, verandert het van richting. Dit verschijnsel heet **lichtbreking**. Van dit verschijnsel wordt gebruikgemaakt in een brandglas, een lens waarmee je een bundel zonlicht concentreert in een punt.

In figuur 1 zie je hoe een brandglas het licht breekt. De gebruikte lens is in het midden dikker dan aan de randen. Zo'n lens wordt een **bolle** of **positieve lens** genoemd. Voordat de lichtstralen van de zon op de lens vallen, lopen ze evenwijdig aan de **hoofdas**. Zo noem je de lijn die door het midden van de lens loopt, loodrecht op de lens. Na de lens bewegen de lichtstralen naar elkaar toe en ontmoeten elkaar in één punt: het **brandpunt**.



figuur 1 Zo kun je een vergrootglas als brandglas gebruiken.

In tekeningen wordt het brandpunt aangegeven met de letter F (van *focus* = brandpunt). De afstand tussen het midden van de lens en het brandpunt F wordt de **brandpuntsafstand** *f* genoemd. De brandpuntsafstand is een belangrijke eigenschap van een lens. Hoe kleiner de brandpuntsafstand is, des te sterker breekt de lens het licht.

BEELDEN MAKEN MET EEN LENS

PROEF 2+3

Met een positieve lens kun je een voorwerp afbeelden op een scherm. Dat doe je bijvoorbeeld als je een foto maakt. Een lens in de camera beeldt de wereld voor de lens verkleind af op een lichtgevoelige beeldchip. In de camera legt een computer het beeld punt voor punt vast in een bestand. Het bestand wordt daarna opgeslagen in het geheugen. Daardoor kun je het beeld later bekijken, uploaden en afdrukken.

Als je een foto neemt, valt er licht van het voorwerp op de lens. Meestal is dit gereflecteerd licht, soms is het licht dat door het voorwerp zelf wordt uitgezonden, zoals bij een lamp. De lens zorgt ervoor dat licht uit één punt van het voorwerp ook weer in één punt bij elkaar komt. Dat punt noem je het **beeldpunt** B van het voorwerpspunt V. Eén foto bestaat uit miljoenen van zulke beeldpunten.

Als de beeldchip op de juiste afstand van de lens staat, krijg je een scherpe foto. Zo’n foto bestaat uit beeldpunten die elkaar niet overlappen. Als de chip niet op de juiste afstand staat, krijg je een foto die onscherp is. Zo’n foto bestaat uit kleine cirkeltjes die elkaar gedeeltelijk overlappen, zodat de grenzen tussen de kleurvlakken vaag worden. Als je scherpstelt op een voorwerp in de voorgrond, wordt de achtergrond niet scherp weergegeven (figuur 2).



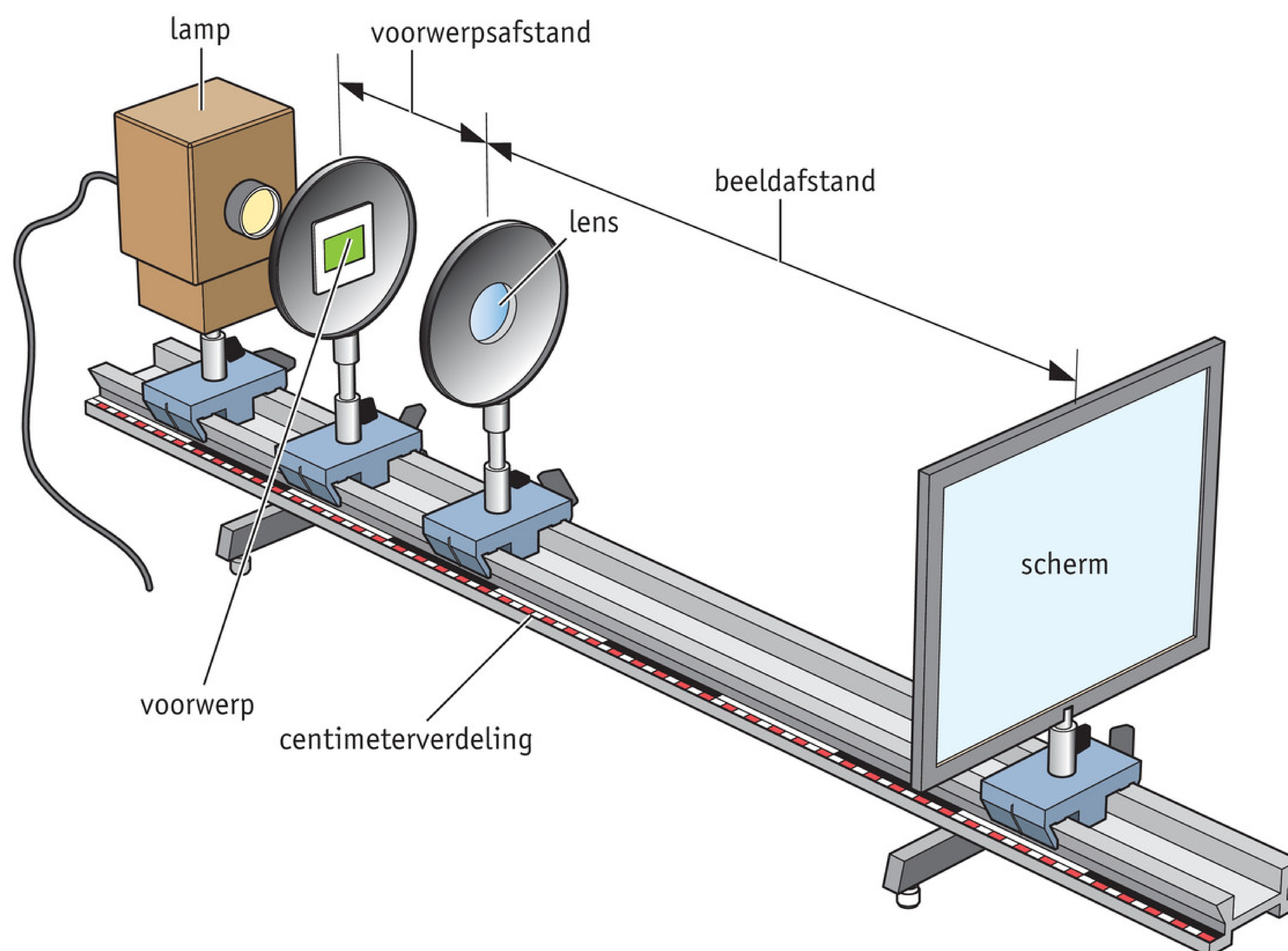
figuur 2 De voorgrond is scherp afgebeeld, de achtergrond onscherp.

VOORWERPSAFSTAND EN BEELDAFSTAND

Bij het scherpstellen van een camera stem je twee afstanden op elkaar af:

1 de afstand tussen de lens en het voorwerp; dit is de **voorwerpsafstand** *v*.
2 de afstand tussen de lens en het beeld; dit is de **beeldafstand** *b*.

Met de opstelling van figuur 3 kun je onderzoeken hoe dat scherpstellen werkt. Je schuift het scherm langzaam bij de lens vandaan, tot er op het scherm een volledig scherp beeld is te zien. Je merkt dan dat er bij elke voorwerpsafstand één beeldafstand hoort. Alleen op die afstand is het beeld helemaal scherp.



figuur 3 Zo kun je bij elke voorwerpsafstand de bijbehorende beeldafstand vinden.

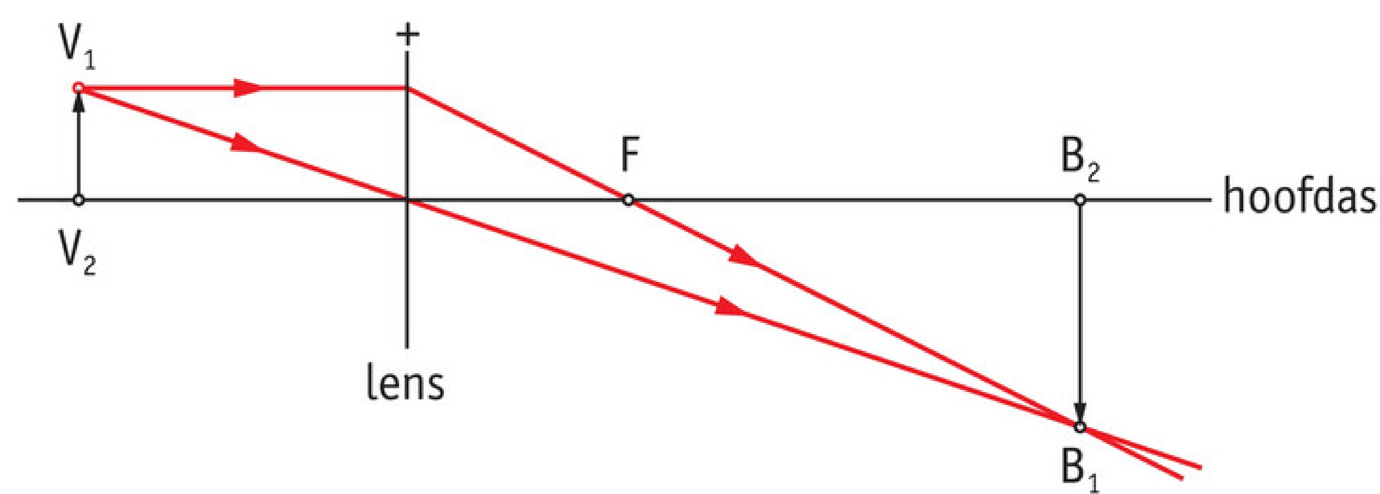
HET BEELD CONSTRUEREN

Je kunt de beeldafstand ook bepalen door een tekening op schaal te maken. Dat heet het beeld **construeren**. Je maakt daarbij gebruik van twee speciale lichtstralen. Van deze **constructiestralen** weet je precies hoe ze lopen:

- Constructiestraal 1 gaat vanaf het voorwerp door het midden van de lens en verandert daarbij niet van richting.
- Constructiestraal 2 loopt tussen het voorwerp en de lens evenwijdig aan de hoofdas. Na de lens gaat deze lichtstraal door het brandpunt F van de lens.

In figuur 4 is getekend hoe je het beeld van een voorwerp construeert:

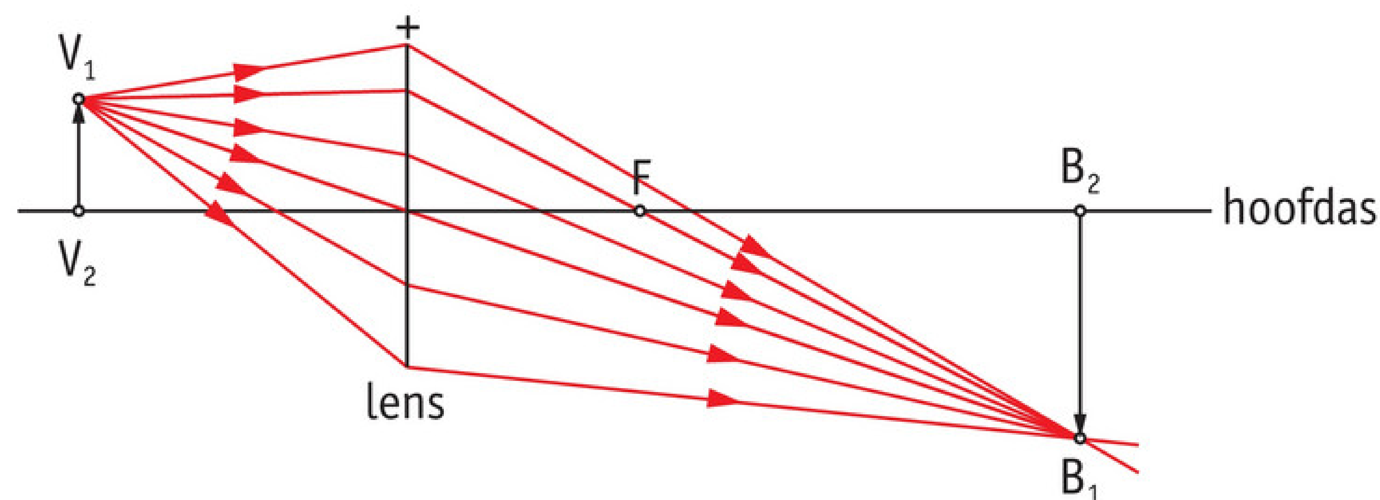
1 Teken de lens en de hoofdas. Teken het brandpunt op de juiste afstand van de lens en zet er de letter F bij.
2 Teken het voorwerp als een pijl V_1V_2 op de juiste afstand voor de lens. V_2 ligt op de hoofdas, V_1 daarboven.
3 Teken de twee constructiestralen vanuit V_1. Teken het beeldpunt B_1 waar de constructiestralen samenkomen.
4 Teken het beeld als een pijl B_1B_2. B_2 ligt op de hoofdas, B_1 daaronder. Het beeld staat dus ondersteboven vergeleken met het voorwerp.



figuur 4 Zo teken je de plaats van het beeld.

Soms is het voorwerp groter dan de lens. In dat geval heb je een truc nodig om het beeld te construeren. Je verlengt in de tekening de lens naar boven en onder, tot hij iets groter is dan het voorwerp. Daarna kun je weer constructiestralen gebruiken om de plaats van het beeld te vinden.

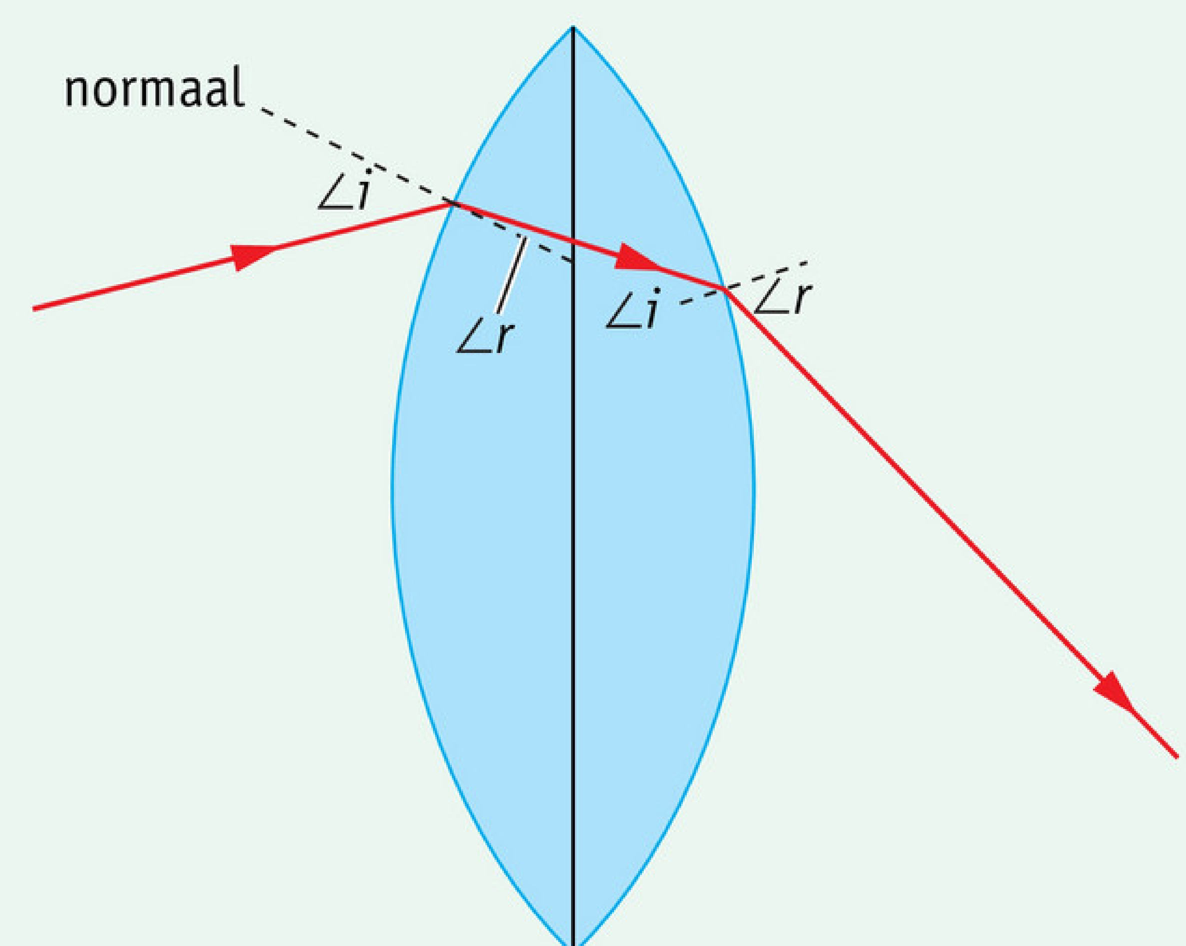
Meestal teken je alleen de twee constructiestralen. Maar als je eenmaal het beeldpunt hebt gevonden, kun je ook tekenen hoe de andere lichtstralen lopen. *Alle* lichtstralen die vanuit V_1 op de lens vallen worden gebroken naar B_1 (figuur 5). Daardoor zie je een scherp beeldpunt van V_1 en geen lichtcirkeltje als je het scherm op die plaats neerzet.



figuur 5 Zo kun je het verloop van de overige lichtstralen intekenen.

PLUS LICHTBREKING BIJ LENZEN

In figuur 6 zie je aan de linkerkant hoe een lens de richting van een lichtstraal verandert op het grensvlak tussen lucht en glas. Dit verschijnsel heet lichtbreking. De gestippelde lijn, loodrecht op het grensvlak, noem je de **normaal**. De hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal is de **hoek van inval** ($\angle i$). De hoek tussen de uittredende lichtstraal en de normaal is de **hoek van breking** ($\angle r$).



figuur 6 De lichtbreking door een lens.

In de zestiende eeuw ontdekte de Nederlander Willebrord Snellius een verband tussen $\angle i$ en $\angle r$. Dit verband heet daarom de **brekingswet van Snellius**:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n$$

Hierin is:

- i de invalshoek in graden;
- r de brekingshoek in graden;
- n een constante, de **brekingsindex** (een stofeigenschap).

Deze wet geldt voor de breking van een lichtstraal die van lucht naar een stof gaat. Elke doorzichtige stof heeft een eigen brekingsindex (tabel 1). Hoe groter de brekingsindex is, hoe sterker de lichtstraal in de doorzichtige stof naar de normaal toe breekt.

tabel 1 De brekingsindex van enkele stoffen.

stof	brekingsindex *n*
alcohol	1,4
diamant	2,4
glas	1,5
ijs	1,3
perspex	1,5
water	1,3

VOORBEELDOPDRACHT 1

Een lichtstraal valt onder een hoek van 40° vanuit lucht op een stuk glas (figuur 7). Bereken de hoek van breking.

gegevens $\angle i = 40°$
$n = 1{,}5$ (tabel 1)

gevraagd $\angle r = ?$

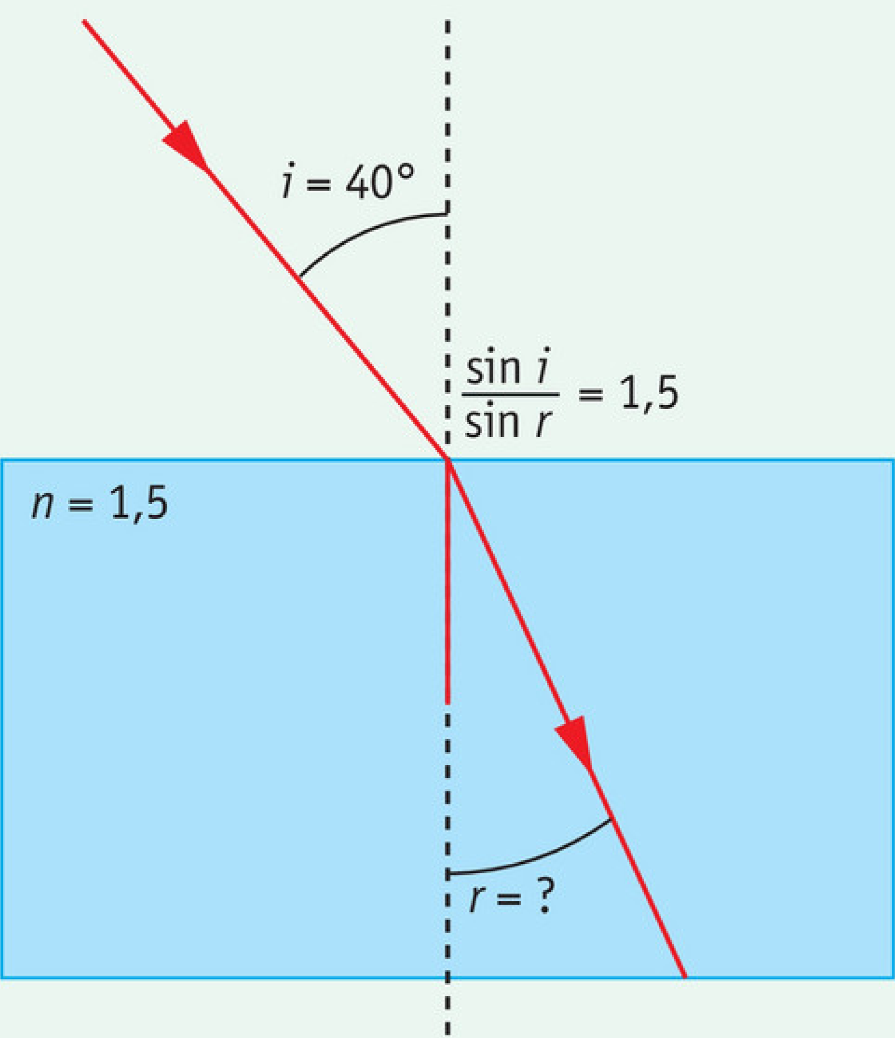
uitwerking Uit de brekingswet volgt:

$$\frac{\sin 40°}{\sin r} = 1{,}5$$

$$\sin 40° = 1{,}5 \cdot \sin r$$

$$\sin r = \frac{\sin 40}{1{,}5} = \frac{0{,}643}{1{,}5} = 0{,}428$$

Met de toets voor de inverse van sinus op je rekenmachine vind je $\angle r = 25°$.



figuur 7 Met de brekingswet van Snellius kun je uitrekenen hoe de lichtstraal verdergaat.

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Hoe kun je aan een lens zien of hij positief is?
b Hoe wordt een evenwijdige bundel zonlicht gebroken door een positieve lens?
c Wat doet de lens in je camera met licht dat uit één punt van het voorwerp komt?
d Wat is er bij het nemen van een foto fout gegaan als het resultaat onscherp is?

2 Joyce laat zonlicht door een brillenglas op een blaadje papier vallen.

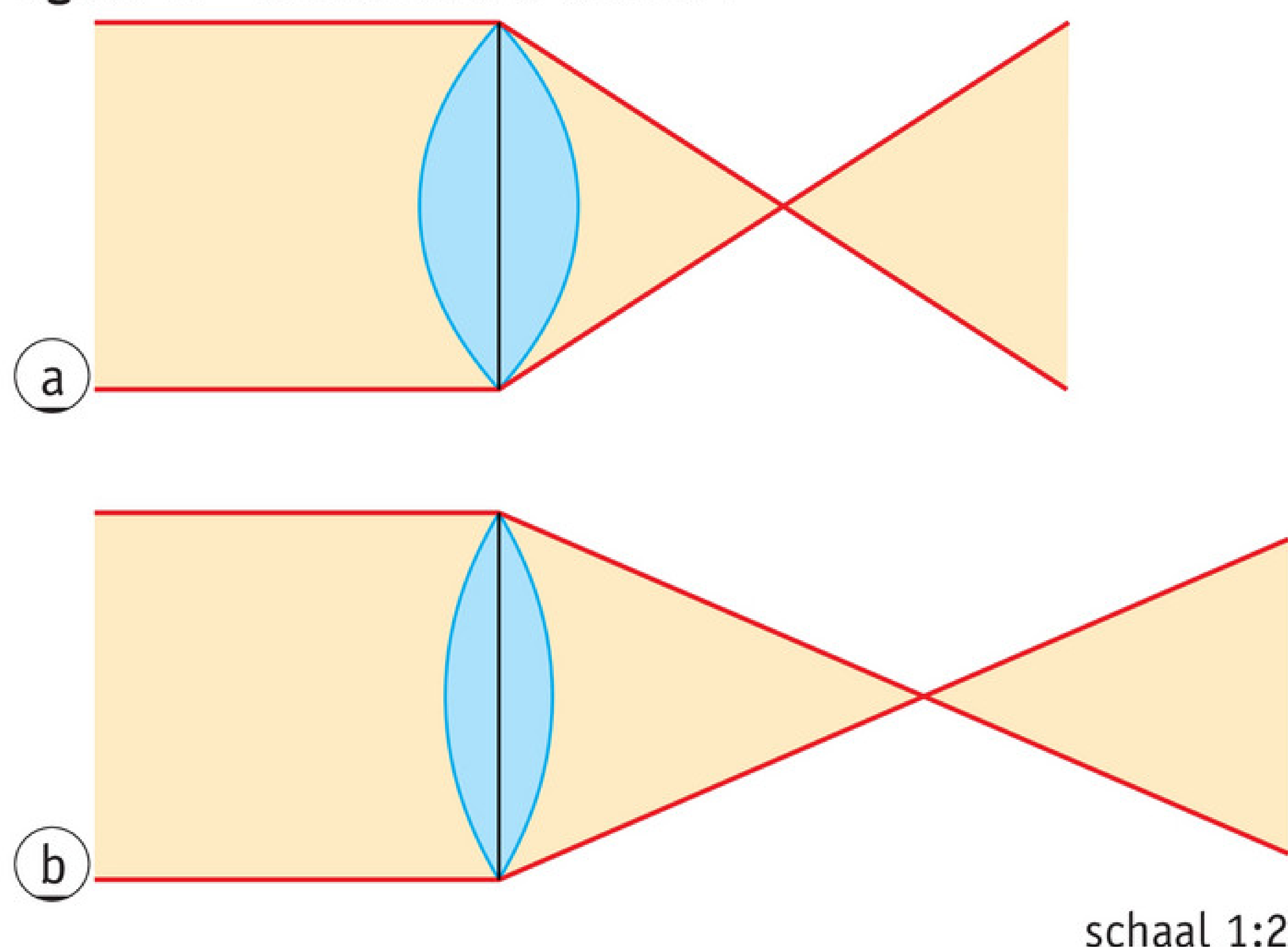
a Wat zal ze zien op het papier als het brillenglas positief is?
b Wat moet Joyce doen om het papier in brand te steken?

TOEPASSING

3 In figuur 8 zijn twee lenzen in doorsnede getekend.

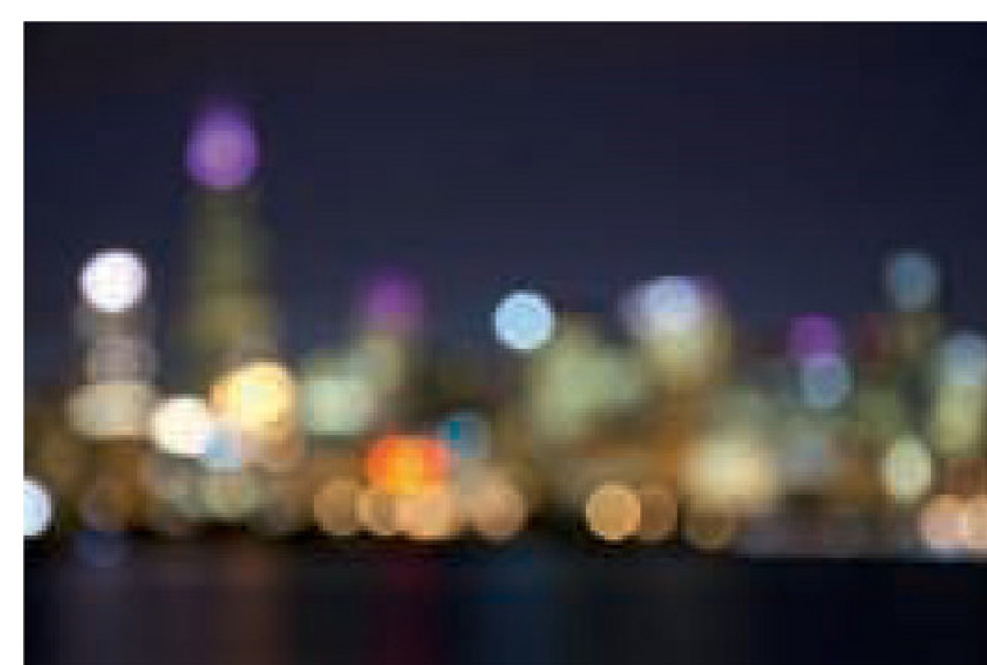
a Welke lens breekt het licht het sterkst?
b De schaal van de tekening is 1 : 2.
Bepaal de brandpuntsafstand van elke lens.

figuur 8 Welke lens is sterker?



4 De foto in figuur 9 is genomen met een camera die in de stand *manual* stond.

a Waaraan kun je zien dat de fotograaf het beeld niet goed heeft scherpgesteld?
b Welke voorwerpen zijn op deze foto afgebeeld als vage lichtcirkels?
c Bij het nemen van de foto was de afstand tussen de lens en de beeldchip groter dan de beeldafstand.
Hoe zullen de lichtcirkels veranderen als de fotograaf die afstand nog groter maakt?
d Hoe zullen de lichtcirkels veranderen als de fotograaf die afstand steeds kleiner maakt?
e Een moderne camera stelt scherp door de lens afwisselend bij de beeldchip vandaan en naar de beeldchip toe te bewegen.
Leg uit hoe de lichtcirkels op de beeldchip daarbij veranderen.
f Wanneer 'weet' de camera dat het beeld goed is scherpgesteld?



figuur 9 De skyline van Chicago bij nacht.

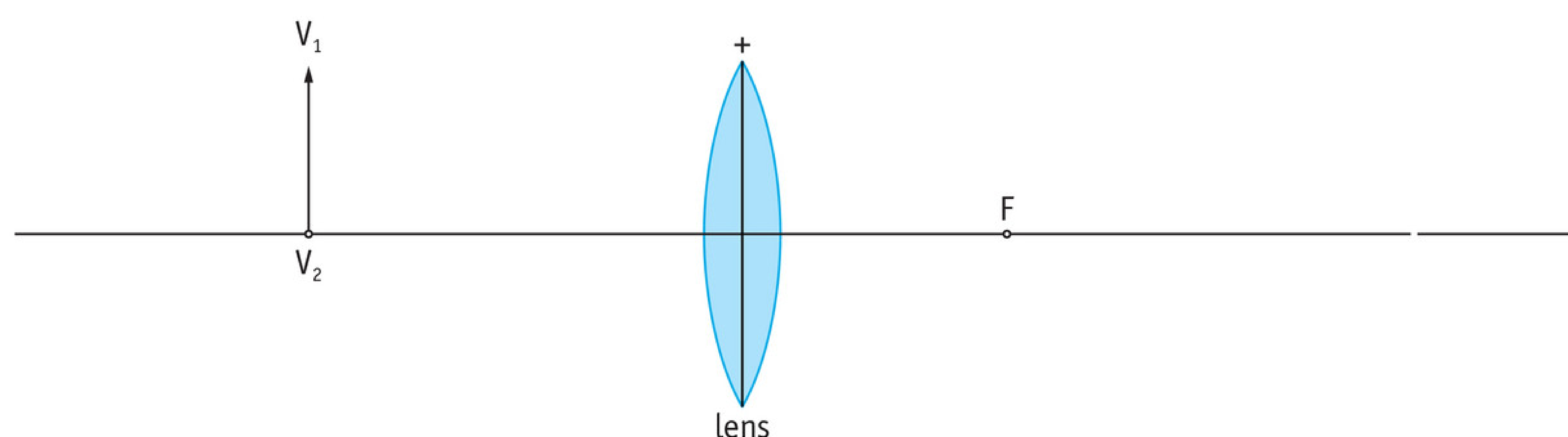
5 Een lens maakt een scherp beeld van voorwerp V_1V_2 (figuur 10).

a Construeer in figuur 10 het beeld van V_1.

b Teken het beeld van V_2.

c Geef in figuur 10 aan waar je een scherm moet neerzetten om een scherp beeld op te vangen.

d De voorwerpsafstand is .... cm. De beeldafstand is .... cm.



figuur 10 Een scherp beeld.

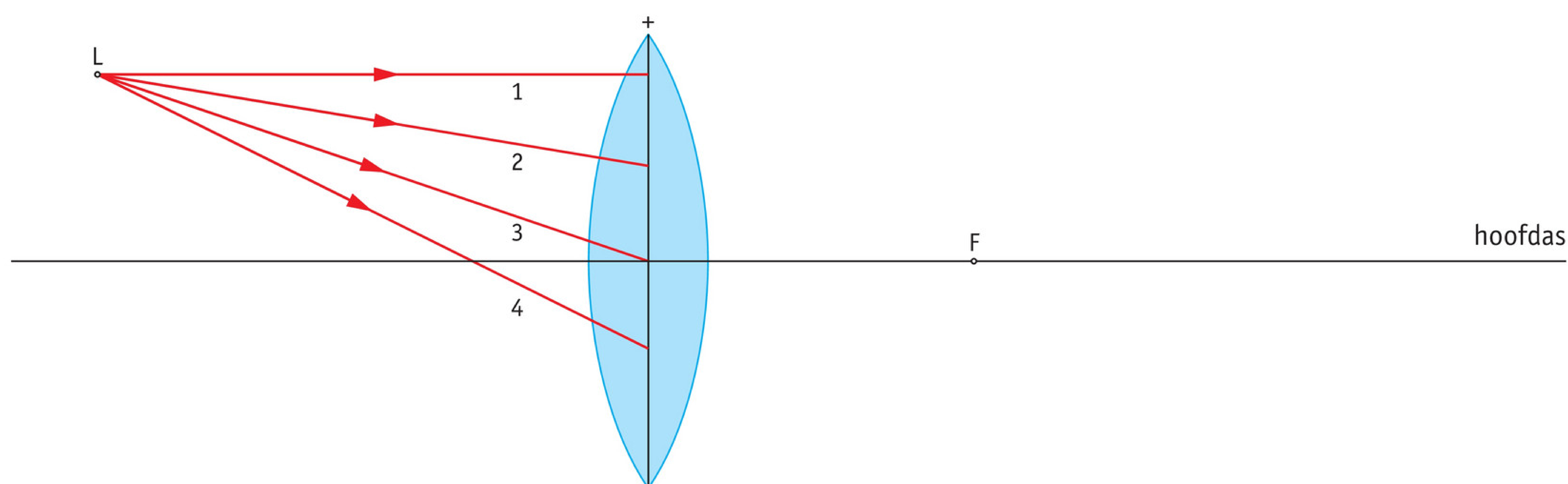
6 Voor een lens staat een lampje L (figuur 11). Je ziet vier lichtstralen die op de lens vallen.

a Welke twee lichtstralen zijn constructiestralen? *1 / 2 / 3 / 4*

b Teken hoe de constructiestralen na de lens verder lopen.

c Teken hoe de andere twee lichtstralen worden gebroken.

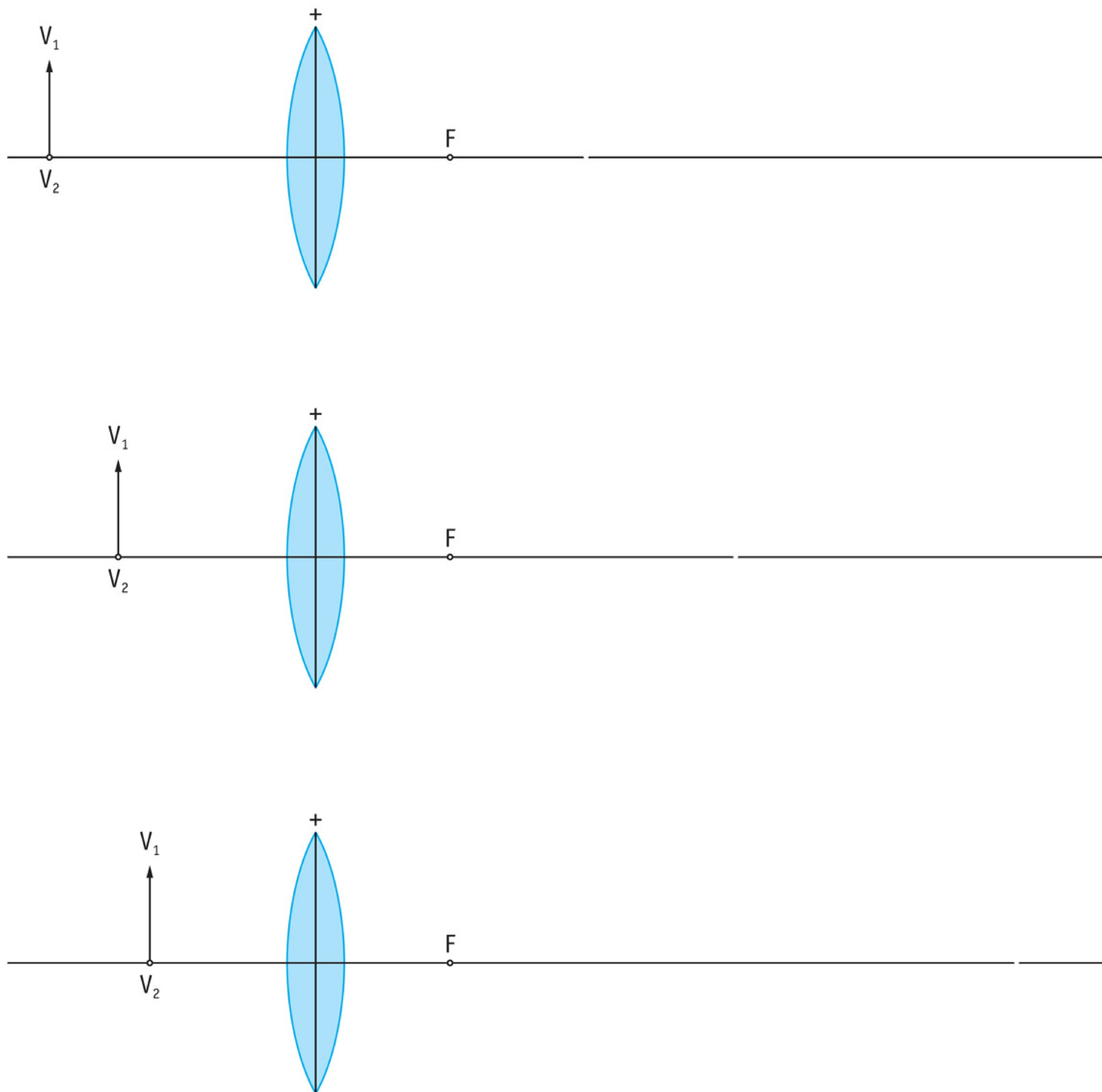
d Stel je voor dat iemand een scherm vlak achter de lens zet en het scherm daarna langzaam naar rechts beweegt, tot voorbij de beeldafstand.
Beschrijf wat er dan op het scherm is te zien.



figuur 11 Hoe lopen de lichtstralen verder?

★ 7 Abdul heeft bij een practicum een dia in een lichtkastje gezet. Op de dia is een pijl te zien. Abdul zet het lichtkastje steeds dichter bij een positieve lens (figuur 12).

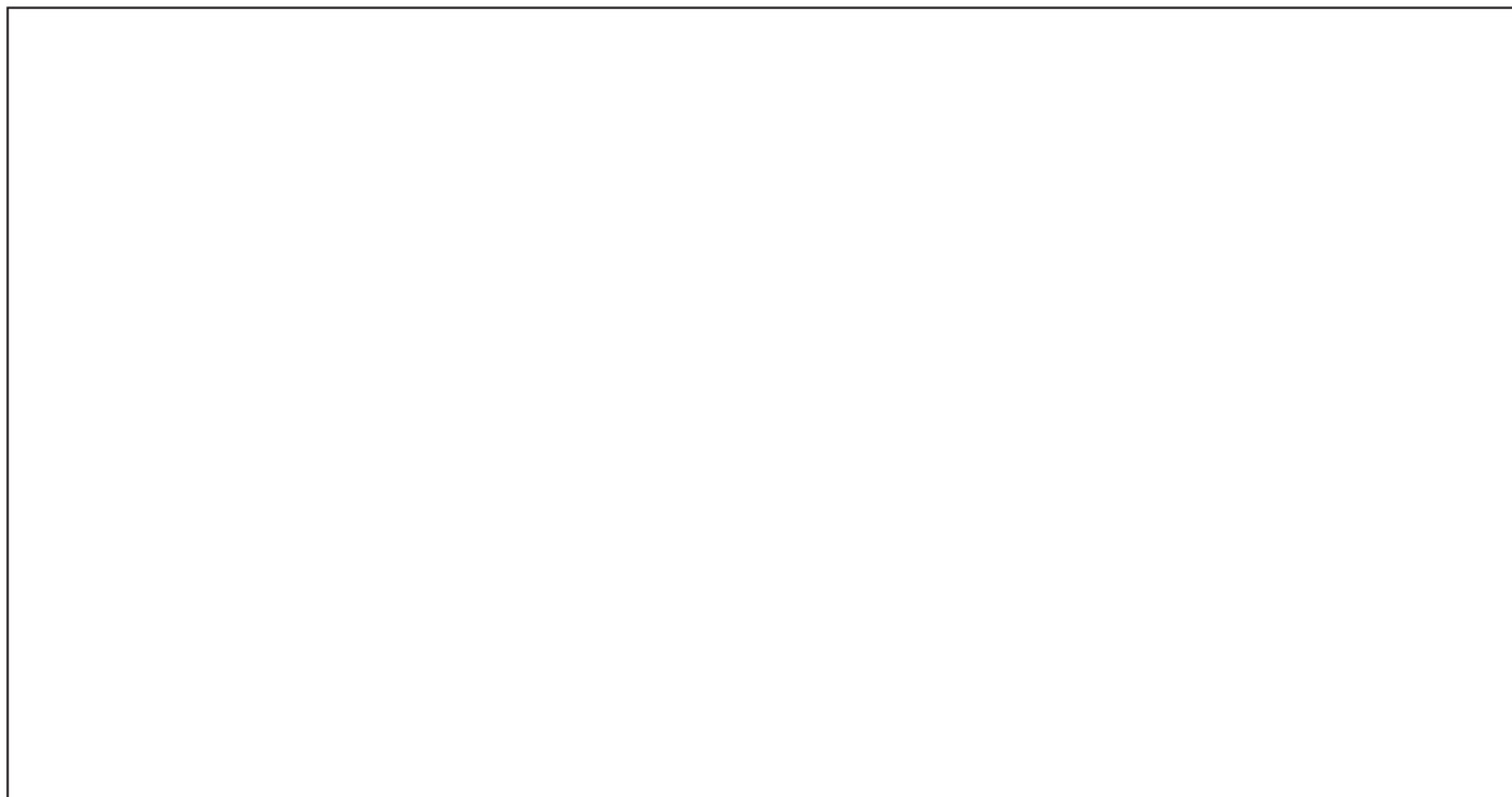
- **a** Construeer (teken) met de constructiestralen de plaats van het beeld B_1B_2 in elk van de drie tekeningen.
- **b** Hoe verandert het beeld als het voorwerp naar de lens toe wordt geschoven?
- **c** Onderzoek of er een recht evenredig verband bestaat tussen de voorwerpsafstand en de grootte B_1B_2 van het beeld.



figuur 12 De proef van Abdul.

★ 8 Merel gebruikt een lens (f = 10 cm) om een voorwerp op een scherm af te beelden. Op een gegeven moment staat het voorwerp 15 cm voor de lens.

a Teken deze situatie op schaal en construeer het beeld.



b Je kunt de vergroting N berekenen met de formule: $N = \frac{B_1B_2}{V_1V_2}$

Hoe sterk is het beeld vergroot dat je bij opdracht a hebt geconstrueerd?

c Als Merel de voorwerpsafstand v groter maakt, wordt de beeldafstand b kleiner. Ook wordt het beeld kleiner. Het beeld is even groot als het voorwerp als v = 20 cm. Welke waarde heeft de vergroting dan?

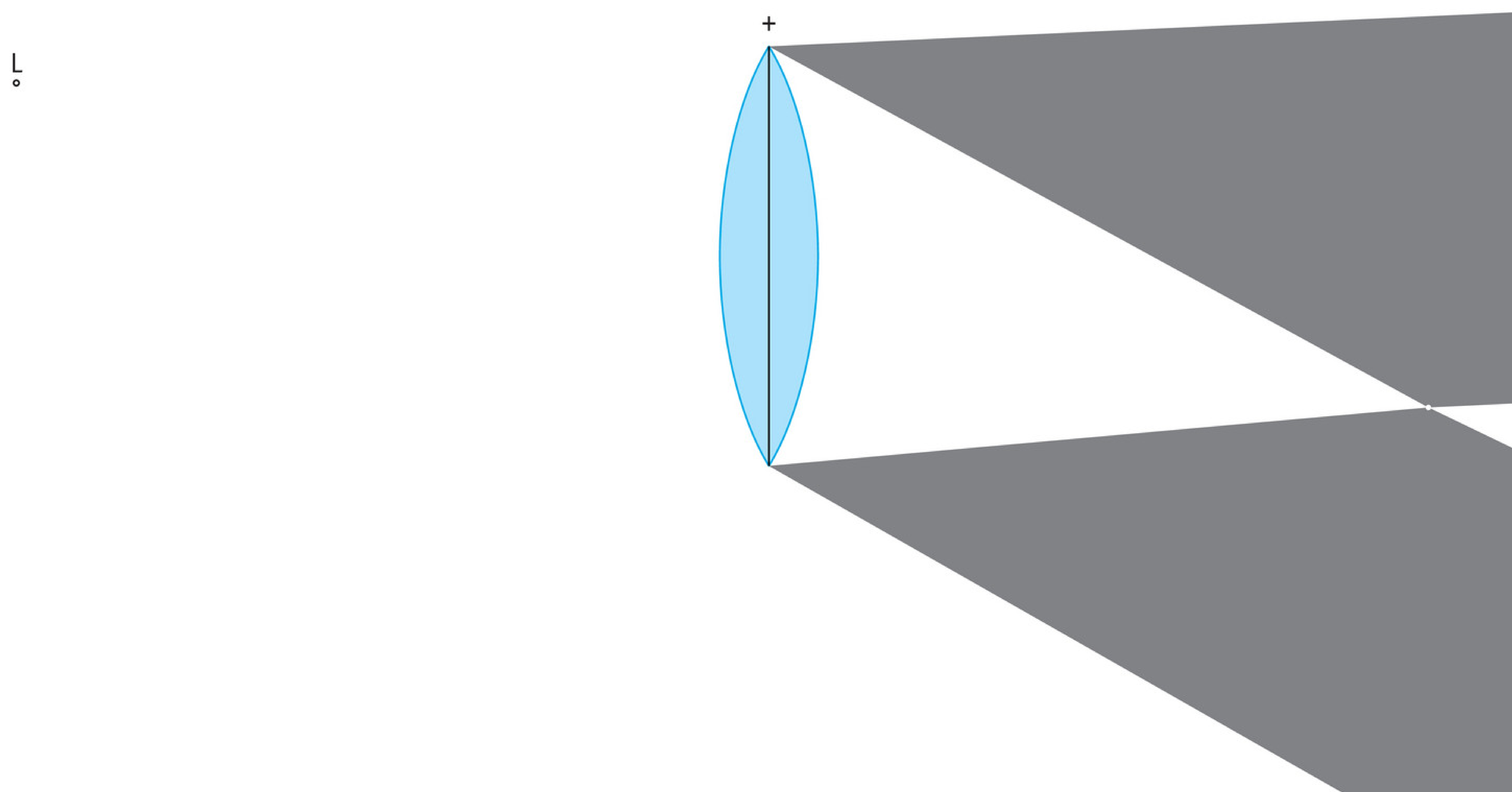
9 Amber maakt met een grote lens een beeld van een kaarsvlam op een muur. Daarna vervangt ze de grote lens door een klein lensje met een even grote brandpuntsafstand.

a Verandert daardoor de plaats van het beeld? Zo ja, hoe dan?

b Verandert daardoor de grootte van het beeld? Zo ja, hoe dan?

c Verandert daardoor de lichtsterkte van het beeld? Zo ja, hoe dan?

★ 10 In figuur 13 is getekend hoe een positieve lens het licht van een lampje L breekt. Bepaal de brandpuntsafstand van de lens met de gegevens in de tekening.



figuur 13 Waar is het brandpunt?


Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS LICHTBREKING BIJ LENZEN

11 Een lichtstraal valt onder een hoek van 30° op een diamant.

a Leg uit of de lichtbreking bij diamant sterker of minder sterk is dan die bij glas. Gebruik hierbij tabel 1.

b Bereken de hoek van breking.

12 Een lichtstraal valt in op een glazen lens. De hoek van inval *i* op het grensvlak tussen lucht en glas is gelijk aan 45°.

a Bereken de hoek van breking *r*.

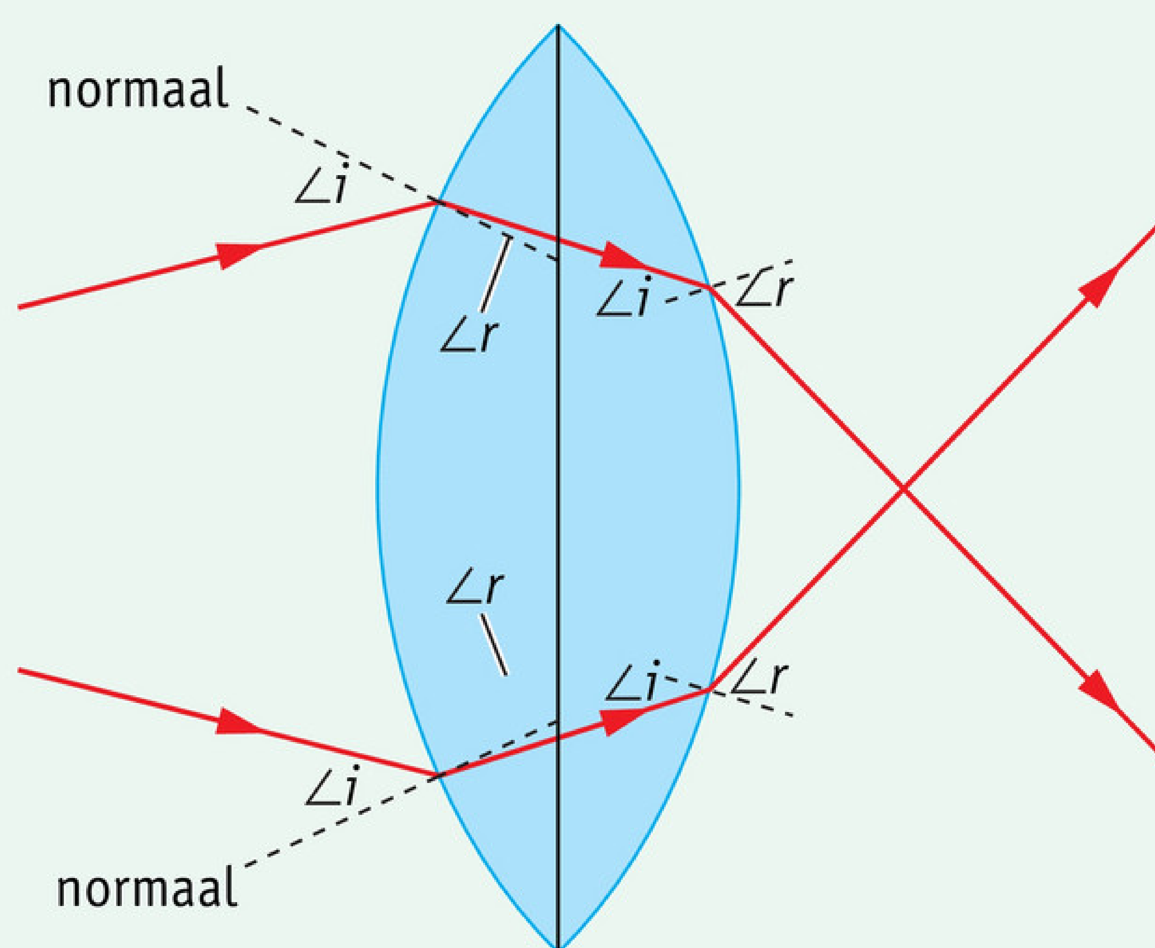
b Als een lichtstraal vanuit lucht invalt op een doorzichtige stof en wordt gebroken, zeg je dat de lichtstraal *naar* de normaal toe wordt gebroken.
Leg uit wat hiermee wordt bedoeld door de grootte van de hoek van inval te vergelijken met de grootte van de hoek van breking.

c In figuur 14 zie je aan de rechterkant hoe de lichtstraal de lens weer verlaat. Als je wilt berekenen hoe een lichtstraal breekt bij de overgang van een doorzichtige stof naar lucht geldt een aanpaste vorm van de wet van Snellius:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n}$$

Ga ervan uit dat de hoek van inval $\angle i$ op het grensvlak tussen glas en lucht aan de rechterkant in figuur 14 gelijk is aan 39°. Bereken de hoek van breking $\angle r$ waaronder de lichtstraal de lens verlaat.

d Als een lichtstraal vanuit een doorzichtige stof naar lucht wordt gebroken, geldt dat de hoek van breking *groter* / *kleiner* is dan de hoek van inval.
Je zegt dan dat de lichtstraal *van de normaal af* / *naar de normaal toe* wordt gebroken.



figuur 14 De lichtbreking door een lens.

3 Röntgenfoto's maken

LEERDOELEN

6.3.1 Je kunt uitleggen wat er kan gebeuren als elektromagnetische straling op een voorwerp valt (drie mogelijkheden).
6.3.2 Je kunt beschrijven hoe een röntgenfoto wordt gemaakt.
6.3.3 Je kunt de gezondheidsrisico's van röntgenstraling benoemen.
6.3.4 Je kunt uitleggen hoe de biologische schade van straling wordt aangegeven.
6.3.5 Je kunt de veiligheidsregels voor het werken met röntgenstraling noemen en toelichten.
PLUS 6.3.6 Je kunt uitleggen hoe verschillende halveringsdikten van menselijke weefsels in medische beeldvorming worden gebruikt.

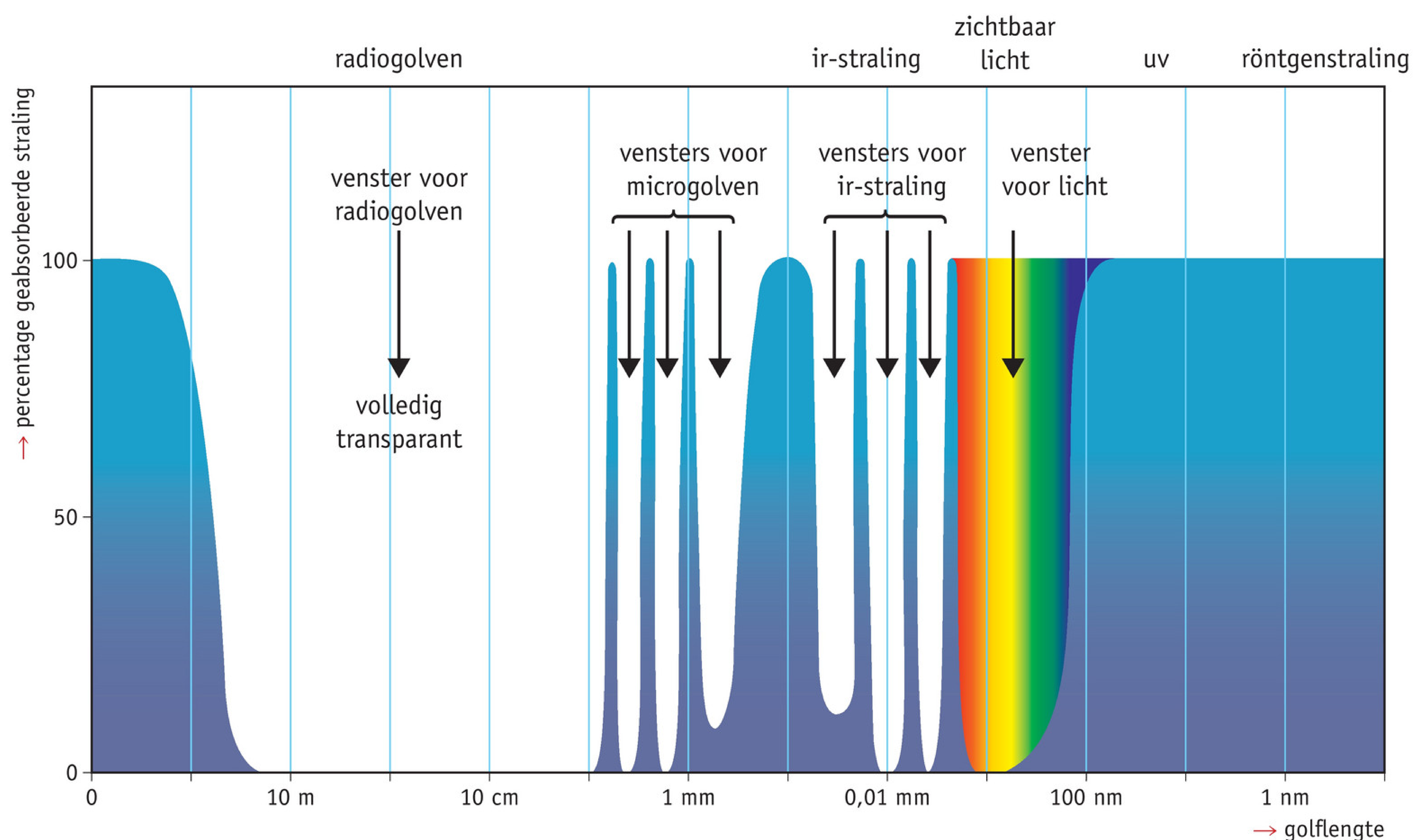
Röntgenstraling gaat, in tegenstelling tot licht, dwars door je heen. Dat maakt het mogelijk om beelden te maken van de situatie in een lichaam. Dankzij moderne technieken is er zo weinig straling nodig voor het maken van zo'n foto dat het gezondheidsrisico erg klein is.

TRANSMISSIE, REFLECTIE EN ABSORPTIE

Als elektromagnetische straling op een voorwerp valt, kunnen er drie dingen gebeuren:

1 **Transmissie**: de straling wordt doorgelaten. Dat zie je bij zonlicht dat door een glazen ruit heen valt.
2 **Reflectie**: de straling wordt gereflecteerd. Dat zie je als licht wordt weerkaatst door een spiegel of een witte muur.
3 **Absorptie**: de straling wordt opgenomen. Dat zie je als een zwart gordijn het licht 'opslokt' en omzet in warmte.

Die drie processen treden vaak alle drie tegelijk op. Een ruit laat niet al het licht door dat erop valt. Een deel van het licht wordt gereflecteerd en een ander deel wordt door het glas geabsorbeerd.



figuur 1 De doorzichtigheid van de atmosfeer voor verschillende soorten straling.

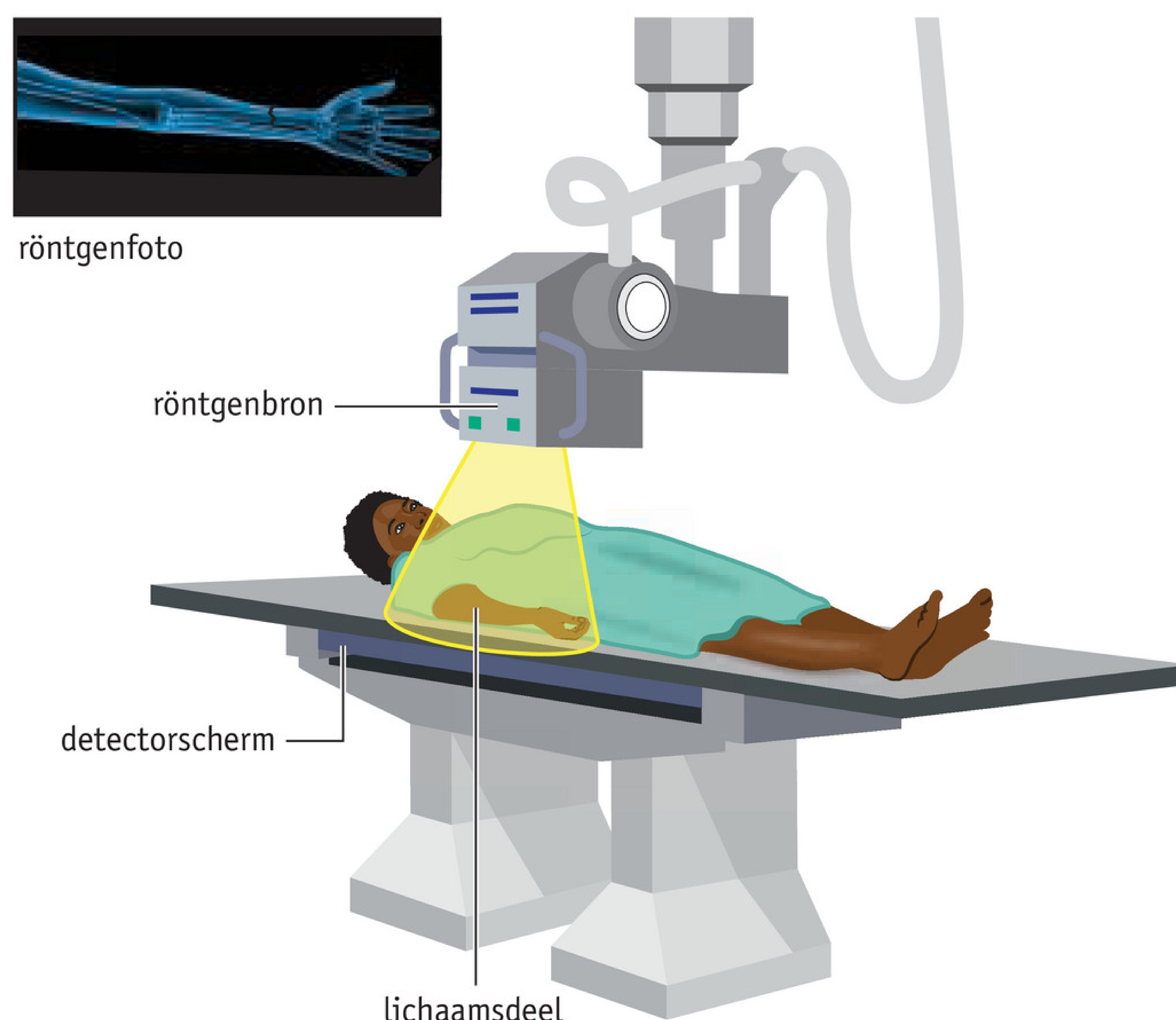
De verschillende soorten elektromagnetische straling vertonen heel uiteenlopend gedrag. Licht wordt bijvoorbeeld doorgelaten door de atmosfeer, terwijl gamma-, röntgen- en uv-straling met een korte golflengte juist worden geabsorbeerd. Bij ir-straling en radiogolven hangt het van de golflengte af of ze de atmosfeer kunnen passeren. De atmosfeer is transparant voor de ene soort straling, maar totaal ondoorzichtig voor de andere (figuur 1).

Als straling op het menselijk lichaam valt, gedraagt de ene soort straling zich ook anders dan de andere. Je lichaam is bijvoorbeeld ondoorzichtig voor licht: je kunt niet door je handen of door je borstkas heen kijken. Licht dat op je lichaam valt, wordt deels gereflecteerd en deels geabsorbeerd. Röntgenstraling kan juist gemakkelijk door het lichaam heen bewegen. Deze eigenschap van röntgenstraling maakt het mogelijk om beelden te maken van de situatie in het lichaam.

BEELDEN MAKEN MET RÖNTGENSTRALING

Gewone foto's worden gemaakt met behulp van een lens. Met röntgenstraling lukt dat niet. Dat heeft twee oorzaken. In de eerste plaats wordt röntgenstraling niet door voorwerpen gereflecteerd, zoals licht. De straling beweegt gewoon verder, door een voorwerp heen. In de tweede plaats wordt röntgenstraling nauwelijks gebroken bij de overgang tussen twee (voor röntgenstraling) doorzichtige stoffen. Het is daardoor niet goed mogelijk om röntgenstraling met een lens te bundelen.

Een röntgenfoto wordt daarom volgens een ander principe gemaakt (figuur 2). Aan de ene kant van het te onderzoeken lichaamsdeel wordt een **röntgenbron** opgesteld. Aan de andere kant van het lichaamsdeel wordt een **detectorscherm** geplaatst. Bij het nemen van een foto zendt de bron een korte flits röntgenstraling uit. De zachte weefsels laten deze straling grotendeels door, terwijl de botten juist veel straling absorberen. Op het scherm ontstaat daardoor een schaduwbeeld van de botten in het lichaam, dat door de detectoren kan worden vastgelegd.



figuur 2 Zo wordt een röntgenfoto gemaakt.

Het is gebruikelijk om röntgenfoto's als negatief weer te geven (figuur 3). Hierdoor steken de schaduwen van de botten (met hun lage transmissie) wit af tegen de omringende weefsels (met hun hoge transmissie). Eerst was dat geen bewuste keuze: er werd fotografische film gebruikt, die bij ontwikkeling vanzelf een negatief beeld opleverde. Maar moderne apparatuur levert digitale beelden die je even goed positief kunt weergeven. Artsen geven meestal de voorkeur aan negatieven, omdat details daarop beter zichtbaar zouden zijn.



figuur 3 Een röntgenfoto van een gebroken bovenarm, waarin een metalen plaat is aangebracht. De schaduw van het metaal is nog lichter dan die van de botten.

GEVAREN VAN RÖNTGENSTRALING

In 1895 ontdekte de Duitse natuurkundige Wilhelm Röntgen het bestaan van röntgenstraling (figuur 4). Al snel maakten artsen gebruik van zijn ontdekking. Ze gebruikten röntgenbeelden onder andere om botbreuken te bekijken. Het was daarbij gebruikelijk dat de arts het gebroken lichaamsdeel vasthield, zodat het niet bewoog tijdens het bestralen. Hierdoor werden de artsen elke keer ook zelf bestraald.



figuur 4 Röntgen groeide op in Nederland. Deze plaquette hangt in Utrecht op een huis waarin hij tijdens zijn studie woonde. Links zie je zijn eerste röntgenfoto, van de hand van zijn vrouw.

Al gauw bleek dat de herhaalde blootstelling aan röntgenstraling gezondheidsproblemen opleverde. Het eerste teken daarvan was een hardnekkige rode huiduitslag. Na verloop van tijd ontwikkelden veel artsen kankergezwellen (tumoren) op de bestraalde plaatsen. Meestal werden hun handen als eerste aangetast, omdat die de grootste hoeveelheid straling hadden opgelopen.

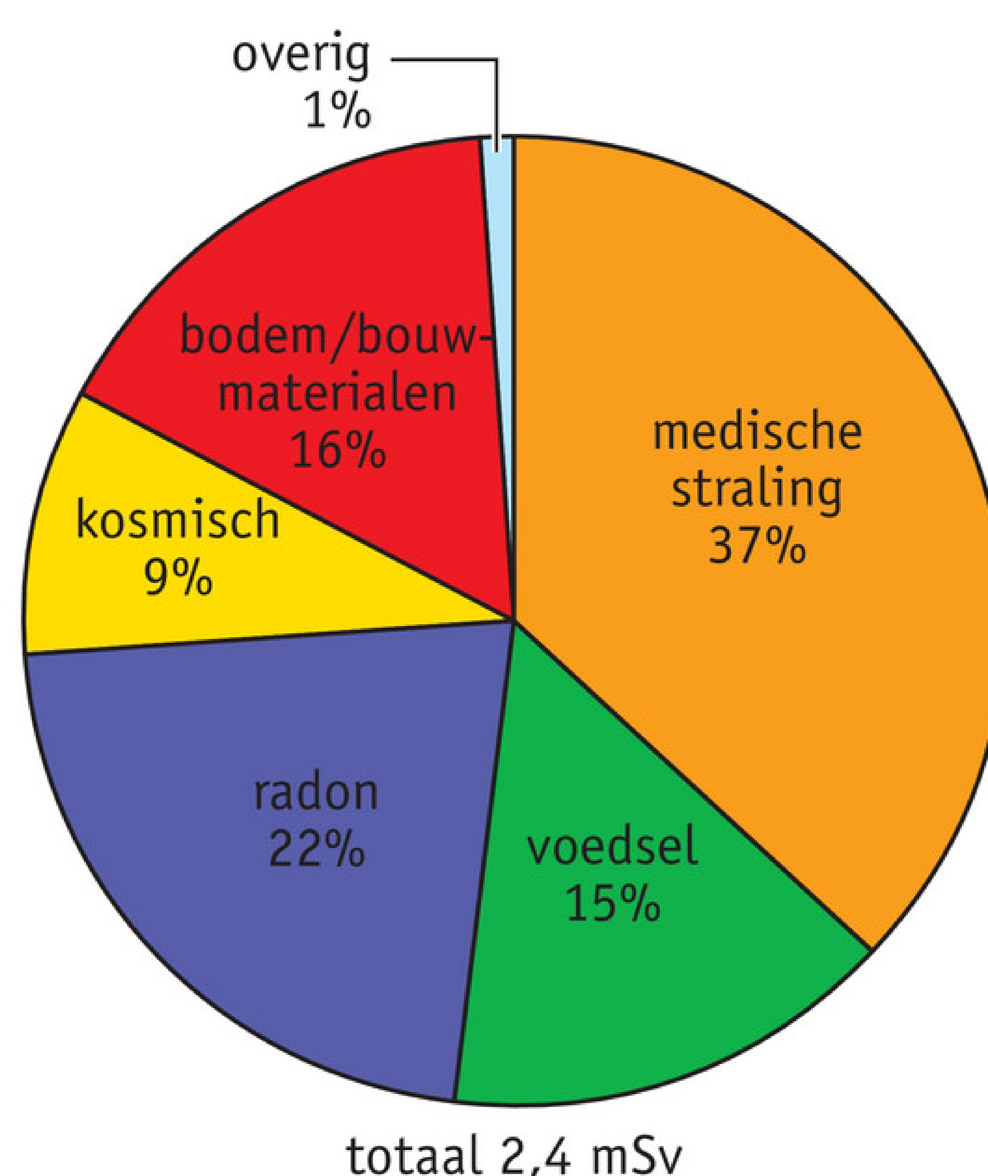
De problemen waren zo groot doordat het detectiemateriaal niet erg gevoelig was. Daarom werden er grote hoeveelheden straling gebruikt. Later zijn er betere technieken ontwikkeld. Daardoor is er tegenwoordig veel minder straling nodig om een röntgenfoto te maken. Maar ook kleine hoeveelheden röntgenstraling hebben een effect op het lichaam.

DE DOSIS BEPALEN

Bij het nemen van een röntgenfoto gaat een deel van de straling dwars door het lichaam heen. Deze straling richt geen schade aan, omdat ze onderweg geen energie aan het lichaam afgeeft. Dit deel van de straling verandert niet tijdens de weg door het lichaam. De schade wordt veroorzaakt door de straling die in het lichaam wordt geabsorbeerd en daarbij haar energie afgeeft. Het is deze afgifte van energie die belangrijke moleculen zoals DNA kapot kan maken.

Als je wilt weten hoeveel schade er is aangericht, kijk je naar de hoeveelheid stralingsenergie die het lichaam heeft geabsorbeerd. Op basis daarvan wordt de **equivalente dosis** bepaald. Dat is een maat voor de biologische schade die ontstaat. De bijbehorende eenheid is de sievert (Sv). Een equivalente dosis van 1 Sv leidt ruwweg tot een 5% hogere kans om ooit kanker te krijgen.

De sievert wordt niet alleen gebruikt voor röntgenstraling, maar voor alle soorten ioniserende straling (figuur 5). Dat maakt het mogelijk om risico's met elkaar te vergelijken. Bij het maken van een röntgenfoto van je borstkas loop je bijvoorbeeld een dosis op van 0,1 mSv. Dat is evenveel als je door kosmische straling hoog in de atmosfeer oploopt bij een vliegreis van Schiphol naar New York en weer terug. Beide activiteiten leveren hetzelfde kleine risico op.



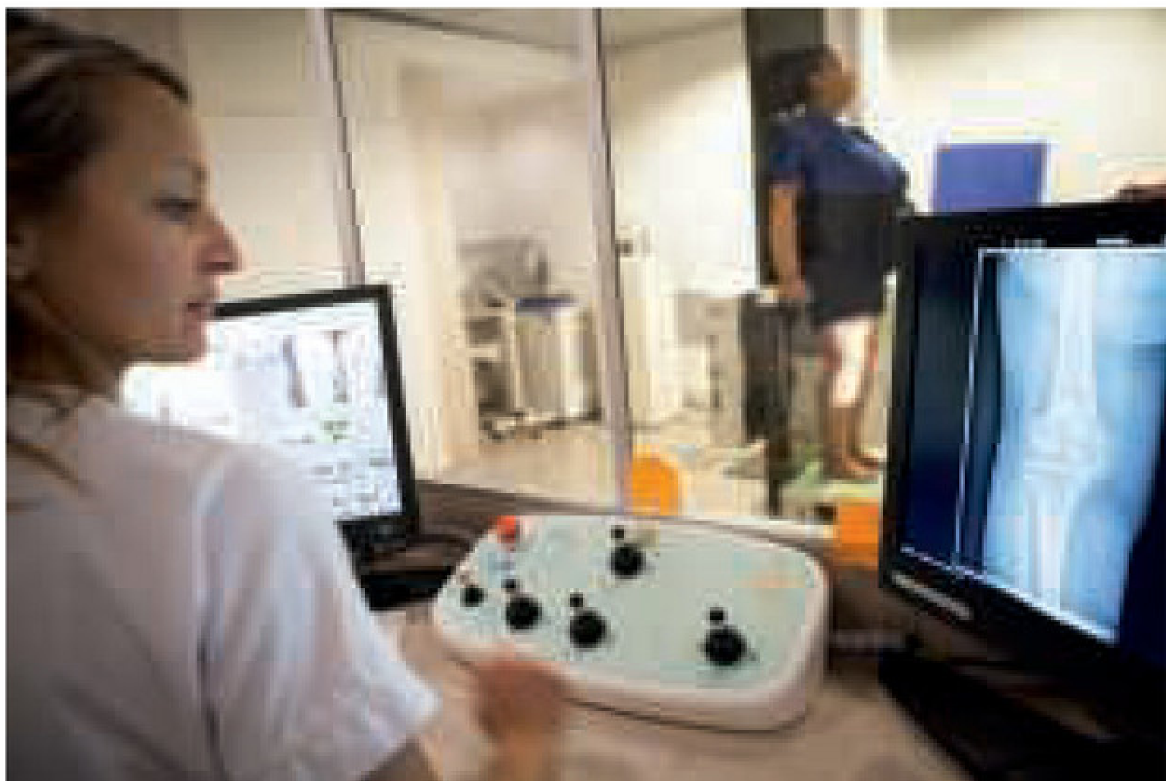
figuur 5 De gemiddelde stralingsbelasting in Nederland per persoon per jaar (bron: RIVM).

BESCHERMING TEGEN STRALING

Elke keer dat iemand blootstaat aan röntgenstraling ontstaat er schade in het lichaam. Het risico dat dit ooit problemen gaat opleveren wordt telkens iets groter. Mensen die dagelijks met röntgenstraling werken moeten daartegen worden beschermd. Als ze regelmatig een kleine dosis straling oplopen bij hun werk, kan dat op den duur onaanvaardbare risico's opleveren.

Er gelden daarom strenge veiligheidsregels voor het werken met röntgenstraling. Het uitgangspunt is altijd dat een werknemer zelf niet mag worden bestraald. Daarom moet je bij het nemen van een röntgenfoto flink afstand houden. Straling verspreidt zich vanaf de bron en wordt daardoor steeds zwakker. Röntgenapparaten worden daarom altijd op afstand bediend.

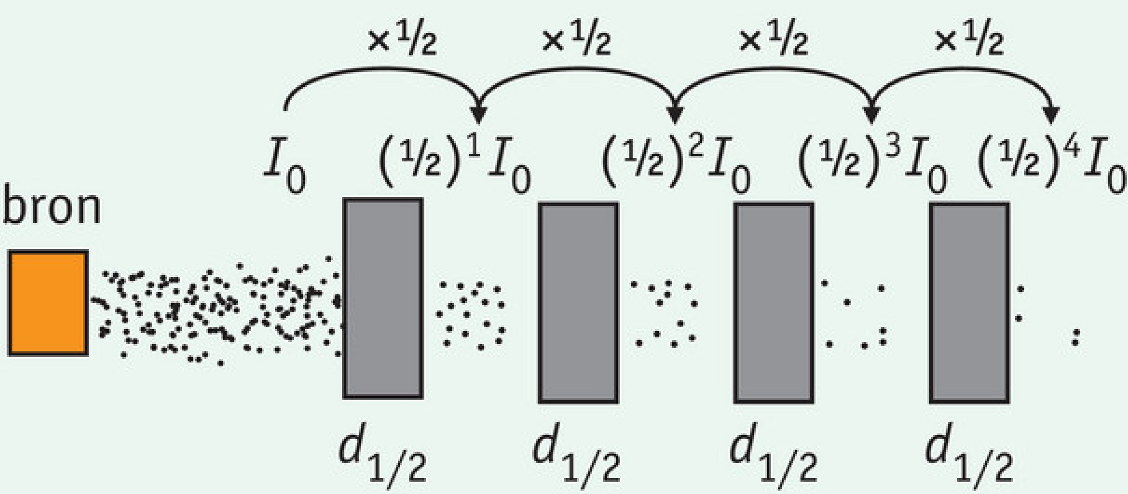
Voor een laborant die röntgenfoto's in het ziekenhuis neemt is het niet genoeg om afstand te houden. Daarom gaat zo iemand bij het nemen van de foto achter een muur staan waarin lood is verwerkt. Ook het glas waar de laborant doorheen kijkt, bevat lood (figuur 6). Stoffen met een grote dichtheid zijn het meest effectief in het absorberen van straling. Omdat lood (ρ = 11,3 g/cm^3) relatief goedkoop is, is dit het meestgebruikte afschermingsmateriaal.



figuur 6 Het maken van een röntgenfoto in het ziekenhuis.

PLUS HALVERINGSDIKTE

Gamma- en röntgenstraling worden nooit helemaal door een voorwerp geabsorbeerd. Er komt altijd wel een beetje straling doorheen. De **halveringsdikte** $d_{½}$ geeft aan hoeveel straling een voorwerp absorbeert. Als je een voorwerp even dik maakt als de halveringsdikte, wordt de intensiteit I van de straling gehalveerd (figuur 7). Als je het voorwerp 2× zo dik maakt (twee halveringsdikten), daalt de intensiteit van de doorgelaten straling naar ½ × ½ = ¼ van de oorspronkelijke intensiteit. Er is dan 25% van de stralingsintensiteit over, wat betekent dat 75% door het materiaal is geabsorbeerd. Elk materiaal heeft een eigen halveringsdikte, die afhangt van de soort straling die erop valt (tabel 1).



figuur 7 Met elke halveringsdikte wordt de intensiteit van de straling gehalveerd.

tabel 1 De halveringsdikte van röntgen- en gammastraling in verschillende materialen.

materiaal	halveringsdikte voor röntgenstraling (cm)	halveringsdikte voor gammastraling (cm)
lucht	2,8·10^3	20,8·10^3
spierweefsel	3,08	22,9
bot	1,08	12,6
lood	0,0079	1,44

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Welke drie dingen kunnen er gebeuren met straling die op een voorwerp valt?
b Waardoor zijn botten goed zichtbaar op een röntgenfoto?
c Wat wordt bedoeld met de 'equivalente dosis'?
d In welke eenheid meet je de equivalente dosis?

2 In figuur 8 zie je een röntgenfoto van de hals van een man.

a Leg uit waardoor het komt het dat het voorwerp in zijn keel zo goed zichtbaar is.
b Zet de volgende objecten die je ziet in figuur 8 op volgorde van weinig naar veel röntgenstraling absorberen: *beenderen – kleding – lucht – spierweefsel – voorwerp.*

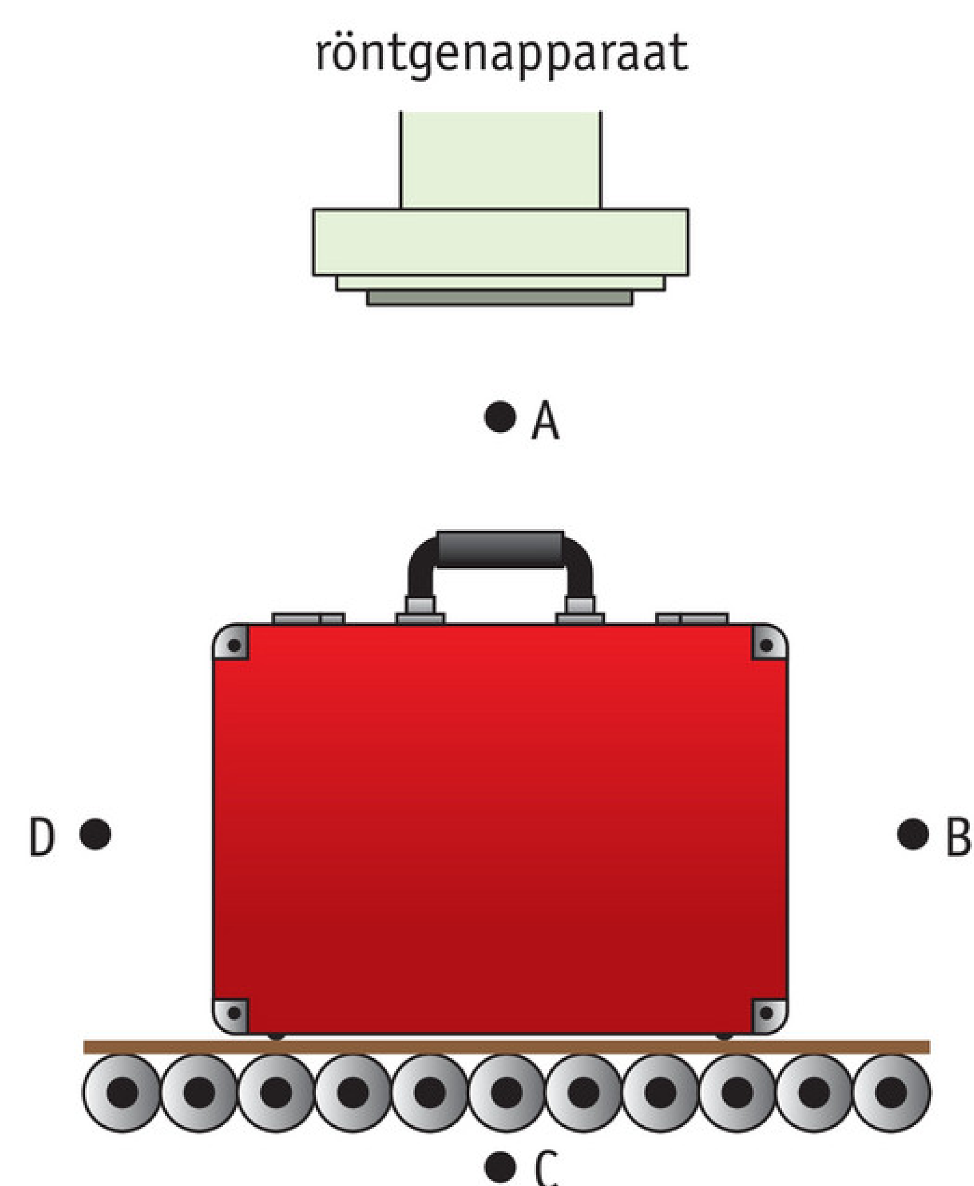


figuur 8 Een röntgenfoto van de hals van een man met een voorwerp dat er niet thuishoort.

TOEPASSING

3 Op vliegvelden wordt bagage vaak met röntgenstraling gecontroleerd. In figuur 9 zie je een schets van zo'n controle, met het röntgenapparaat en een koffer op de lopende band.

a Leg uit waar de röntgencamera zich bevindt, op plaats A, B, C of D?
b Waarom hoef je bij deze controle niet zo streng op de sterkte en duur van de bestraling te letten als bij een röntgenfoto in het ziekenhuis?



figuur 9 Een bagagecontrole op het vliegveld.

4 De botten in je lichaam zijn ingewikkelde organen, met een eigen structuur. Tip: google voor deze opdracht eerst naar afbeeldingen met de woorden *x-ray leg*.

a Hoe zouden de botten eruitzien op een röntgenfoto als ze helemaal massief zouden zijn?

b In werkelijkheid zijn botten niet massief, maar hol. Binnenin zit een zacht weefsel, het beenmerg.
Leg uit hoe je dat op een röntgenfoto kunt zien.

5 Tandartsen maken vaak röntgenfoto's van tanden en kiezen (figuur 10).

a Leg uit waarom röntgenfoto's nuttige hulpmiddelen zijn voor tandartsen.

b Laten vullingen veel of weinig straling door? Verklaar je antwoord met behulp van figuur 10.

c Welk deel van het gebit laat de meeste straling door?

d Bij het maken van een röntgenfoto gaat een tandarts eerst de behandelkamer uit en maakt dan de foto.
Waarom doet ze dat?

e De tandarts stelt voor om eens in de vijf jaar een 'panoramafoto' te maken van je hele gebit.
Noem daarvan een voordeel en twee nadelen.



figuur 10 Een röntgenfoto van een deel van een gebit.

6 In een medische encyclopedie staat een kort artikel over de röntgencontrastfoto (figuur 11). Lees het artikel en beantwoord de vragen.

a Leg uit waardoor het komt dat op een gewone röntgenfoto de darmen niet te zien zijn.

b Leg uit waardoor het komt dat je de darmen wel kunt zien nadat de patiënt bariumsulfaat heeft ingeslikt.

c Er is nog een orgaan dat je met behulp van bariumsulfaat zichtbaar kunt maken.
Bedenk zelf welk orgaan dat is.

Röntgencontrast

De darmwand kun je niet zichtbaar maken met röntgenstraling. Om afwijkingen zichtbaar te maken, moet er een laagje barium op worden gelegd, dat geen röntgenstralen doorlaat. Bariumsulfaat vermengd met water wordt als klysma gegeven of ingeslikt. Barium via een klysma is in 25 minuten ter plaatse, ingeslikt barium doet er vijf uur over.



figuur 11 Informatie over een röntgencontrastfoto van de darm.

7 Vliegtuigbemanningen worden tijdens het vliegen op grote hoogte blootgesteld aan kosmische straling (ioniserende straling vanuit de ruimte). De extra dosis mag volgens EU-regels niet hoger zijn dan 6 mSv per jaar.

a Leg uit waarom het volgens de regels acceptabel is dat vliegtuigbemanningen een extra dosis krijgen.

b In Nederland ontvangt iedereen gemiddeld 2,4 mSv per jaar uit allerlei bronnen. Een vlucht van Amsterdam naar Tokio levert een extra dosis op van 0,075 mSv.
Met hoeveel procent stijgt je dosis door een retourvlucht Amsterdam-Tokio? Vind je dat veel?

c Voor een zwanger bemanningslid geldt een maximale extra dosis van 1 mSv.
Leg uit waarom het maximum lager is voor een zwangere vrouw.

d Hoe vaak mag een zwangere stewardess een retourvlucht Amsterdam-Tokio maken?

8 De afdeling Radiologie van een ziekenhuis beantwoordt veelgestelde vragen op haar website. In figuur 12 zie je een van de vragen en het antwoord van het ziekenhuis.

a In het antwoord wordt een schort genoemd dat de baby moet beschermen.
Welk materiaal is waarschijnlijk in dit schort verwerkt? Waarom?

b Soms is een gedeelte van het schort op de röntgenfoto te zien.
Leg uit welke ‘kleur’ het schort op de röntgenfoto heeft.

figuur 12 Een veelgestelde vraag over röntgenonderzoek.

Kan ik een röntgenonderzoek ondergaan als ik zwanger ben?

Als u zwanger bent of denkt dat u misschien zwanger bent, moet u dit meteen vertellen aan uw behandelend arts. Deze kan in overleg met u beslissen of het onderzoek door moet gaan, op een later tijdstip moet plaatsvinden, of kiezen voor een alternatief onderzoek.
Is uw onderzoek al afgesproken, meld dan uw zwangerschap bij de administratief medewerkster op de afdeling Radiologie, of bij de röntgenlaborant vóór het onderzoek plaatsvindt. Er zijn dan drie mogelijkheden:

- Het onderzoek wordt uitgesteld tot na de geboorte.
- De arts stelt een ander soort onderzoek aan u voor.
- U krijgt een speciaal schort aan om uw baby te beschermen tegen de straling.

★ 9 Op de website www.radiologen.nl wordt het risico van röntgenonderzoek vergeleken met andere risico’s. Volgens de site is het gemiddeld verlies in levensverwachting als gevolg van:

- alcoholisme: 11 jaar
- roken: 6,3 jaar
- roken door partner: 2,7 jaar
- 20% overgewicht: 3,0 jaar
- 10 mSv elk jaar: 1,5 maand

a De cijfers op de website gaan uit van levenslange blootstelling, vanaf het moment dat iemand volwassen is.
Leg uit waarom dit uitgangspunt voor röntgenonderzoek niet erg realistisch is.

b Leg uit wat je uit dit overzicht kunt concluderen over het risico van een gewone röntgenfoto, bijvoorbeeld van je hart en longen.

c Voor andere vormen van röntgenonderzoek is meer straling nodig. Een CT-scan van de borst levert bijvoorbeeld een dosis op van 9 mSv.
Betekent dit dat je levensverwachting door zo’n onderzoek met bijna 1,5 maand daalt?

d Een eenmalige dosis van 9 msV is praktisch ongevaarlijk als iemand al 90 jaar oud is.
Leg uit waarom.


Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS HALVERINGSDIKTE

10 Bekijk tabel 1.

a Leg uit waardoor de halveringsdikte in een materiaal groter is voor gammastraling dan voor röntgenstraling.

b Verklaar het verschil in halveringsdikte tussen lucht en spierweefsel.

c De dichtheid van lucht is 1,3 kg/m^3 en van lood 11,3 g/cm^3.
Onderzoek zowel voor röntgenstraling als voor gammastraling of de halveringsdikte van een stof omgekeerd evenredig is met de dichtheid.

11 In tabel 1 vind je de halveringsdikte van lood.
In het ziekenhuis wordt gebruikgemaakt van loodschorten (figuur 13) om te voorkomen dat medewerkers die met röntgenstraling werken te veel straling absorberen. In een standaard loodschort zit een laagje lood van 2,0 mm dikte.

a Leg uit of het loodschort meer of minder dan de helft van de straling absorbeert als je het voor gammastraling zou gebruiken.

b Leg uit waarom het standaard loodschort wel bij röntgen-, maar niet bij gammastraling wordt gebruikt.

c Met hoeveel procent wordt de intensiteit van gammastraling verminderd als de bron ervan in een loden pot zit waarvan de wanden 4,32 cm dik zijn?

d Hoe dik moeten de wanden van de pot zijn om de intensiteit met 93,75% te laten afnemen?



figuur 13 Met elke halveringsdikte wordt de intensiteit van de straling gehalveerd door het loodschort.

12 Bij het maken van een röntgenfoto wordt gebruikgemaakt van het feit dat de halveringsdikte voor elke stof anders is.

a Leg dat uit aan de hand van figuur 10.

b Als je op een röntgenfoto in een grijs gedeelte een witte plek ziet, kan dat komen doordat het een andere stof is met een andere halveringsdikte. Er is ook een andere verklaring mogelijk.
Leg uit wat die andere verklaring is.

4 Werken met gammastraling

LEERDOELEN

6.4.1 Je kunt beschrijven wat wordt bedoeld met radioactiviteit en halfwaardetijd.
6.4.2 Je kunt de activiteit van een stof berekenen na *N* halfwaardetijden.
6.4.3 Je kunt de halveringstijd bepalen uit een grafiek van de activiteit tegen de tijd.
6.4.4 Je kunt drie soorten straling beschrijven die door radioactieve stoffen worden uitgezonden.
6.4.5 Je kunt van verschillende soorten straling het doordringend vermogen beschrijven.
6.4.6 Je kunt beschrijven hoe met gammastraling medisch onderzoek wordt uitgevoerd.
6.4.7 Je kunt het verschil tussen besmetting en bestraling uitleggen en toepassen.
PLUS 6.4.8 Je kunt het verschil beschrijven tussen inwendig en uitwendig bestralen en aangeven wat de gezondheidseffecten hiervan zijn.

Radioactieve stoffen zenden straling uit. Deze straling wordt in ziekenhuizen gebruikt om ziekten op te sporen en te behandelen. Daarbij moet goed op de veiligheid worden gelet, want de straling kan gezonde mensen ook ziek maken.

RADIOACTIVITEIT

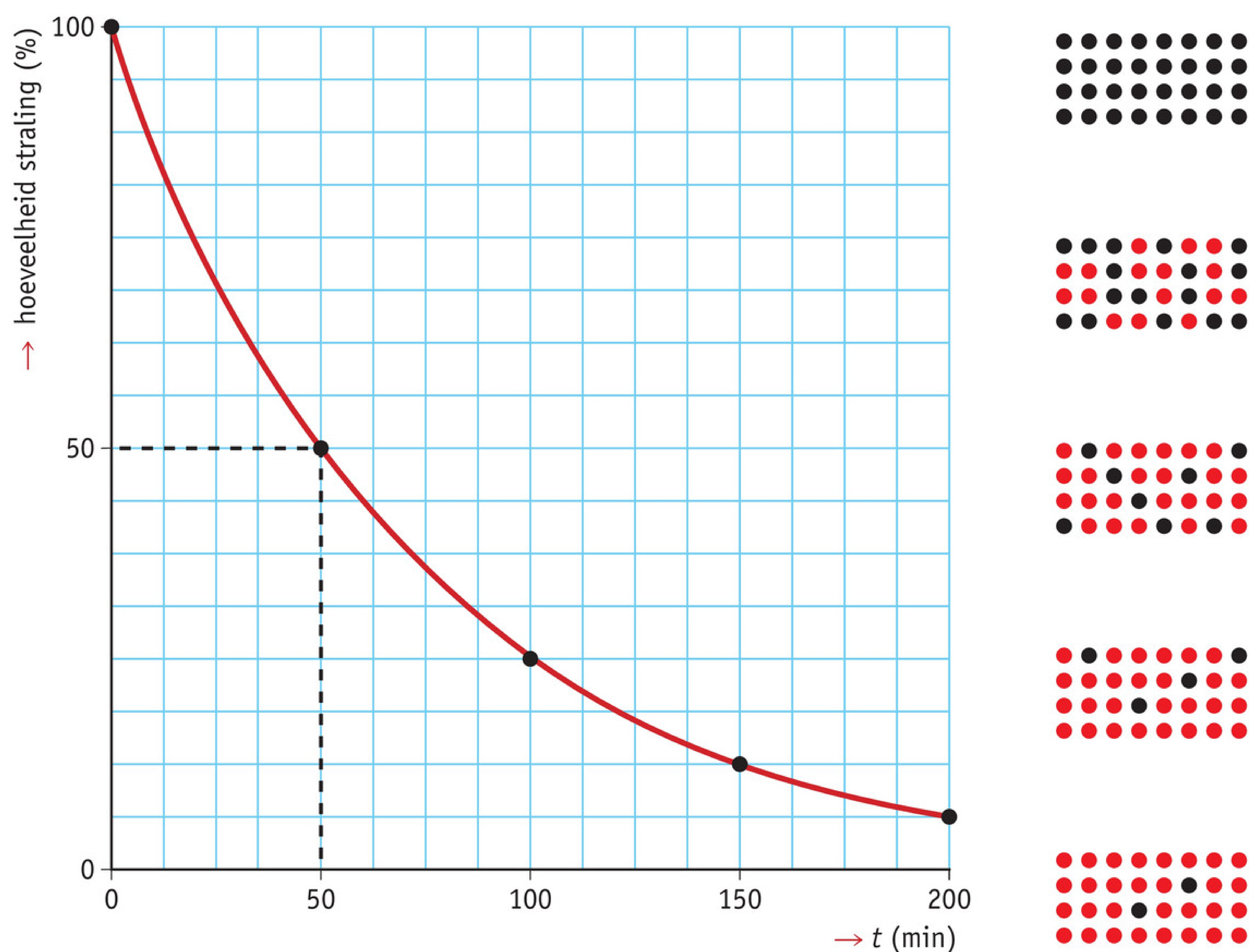
In 1896 ontdekte de Franse natuurkundige Henri Becquerel (1852-1908) dat sommige stoffen spontaan (uit zichzelf) sterk ioniserende straling uitzenden. Zulke stoffen noem je **radioactief**. Het woorddeel 'radio' komt van *radius*, het Latijnse woord voor straal. 'Radioactief' betekent: zendt straling uit.

In heel kleine hoeveelheden vind je radioactieve stoffen overal: in de bodem, in het water, in de lucht, in de muren van gebouwen en zelfs in je eigen lichaam. Veel van deze stoffen zijn van natuurlijke oorsprong (figuur 1). Ze zijn **natuurlijk radioactief**. Natuurkundigen hebben na 1896 geleerd om zelf nieuwe radioactieve stoffen te maken. Zulke stoffen noem je **kunstmatig radioactief**.



figuur 1 Paranoten staan erom bekend dat ze kleine hoeveelheden radium bevatten, een natuurlijk radioactieve stof.

Een radioactieve stof wordt bij dit proces geleidelijk omgezet in een andere stof. Na verloop van tijd is de helft van de oorspronkelijke hoeveelheid stof verdwenen. De hoeveelheid straling is dan ook met de helft afgenomen. De tijd die hiervoor nodig is, noem je de **halveringstijd** of **halfwaardetijd** (figuur 2).

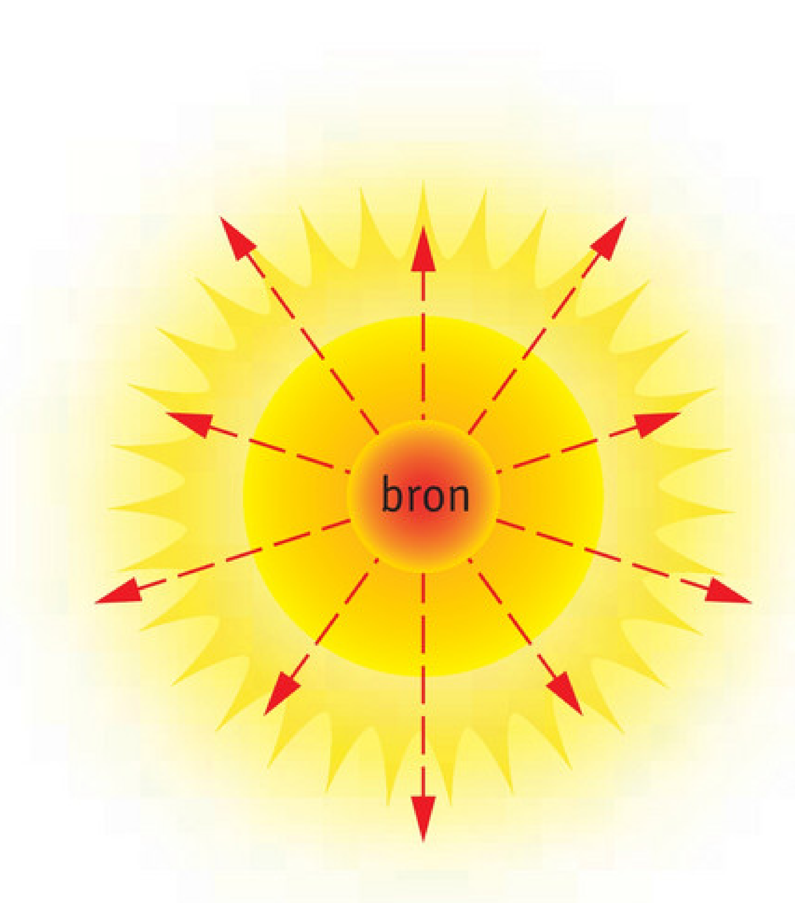


figuur 2 De hoeveelheid straling van een radioactieve bron met een halfwaardetijd van 50 minuten.

Radioactieve stoffen hebben heel verschillende halfwaardetijden. In de natuur komen stoffen voor met halfwaardetijden van miljarden jaren. In ziekenhuizen worden kunstmatig radioactieve stoffen gebruikt met halfwaardetijden van uren tot weken. Deze stoffen verdwijnen snel nadat een onderzoek of een behandeling is afgesloten, en vormen daardoor op den duur geen risico meer.

DRIE SOORTEN STRALING

Een radioactieve stof kan zowel deeltjes als elektromagnetische golven uitzenden. De deeltjes en de golven bewegen in alle richtingen bij de radioactieve stof vandaan (figuur 3). Daarom worden de deeltjes en de golven allebei straling genoemd, al zijn het natuurkundig gezien heel verschillende verschijnselen. Zowel de deeltjes als de golven zijn ioniserend.



figuur 3 Dit plaatje kun je voor elk soort straling tekenen.

Deeltjesstraling bestaat uit een stroom deeltjes die zich met grote snelheid voortbewegen, als kogels uit een geweer. Het zijn die snelheid en de massa die de deeltjes hun ioniserende werking geven. Als ze tegen een molecuul botsen, kan dat gemakkelijk worden beschadigd. Natuurkundigen onderscheiden twee soorten deeltjesstraling: **alfastraling** (α-straling) en **bètastraling** (β-straling). Alfadeeltjes zijn veel groter en zwaarder dan bètadeeltjes.

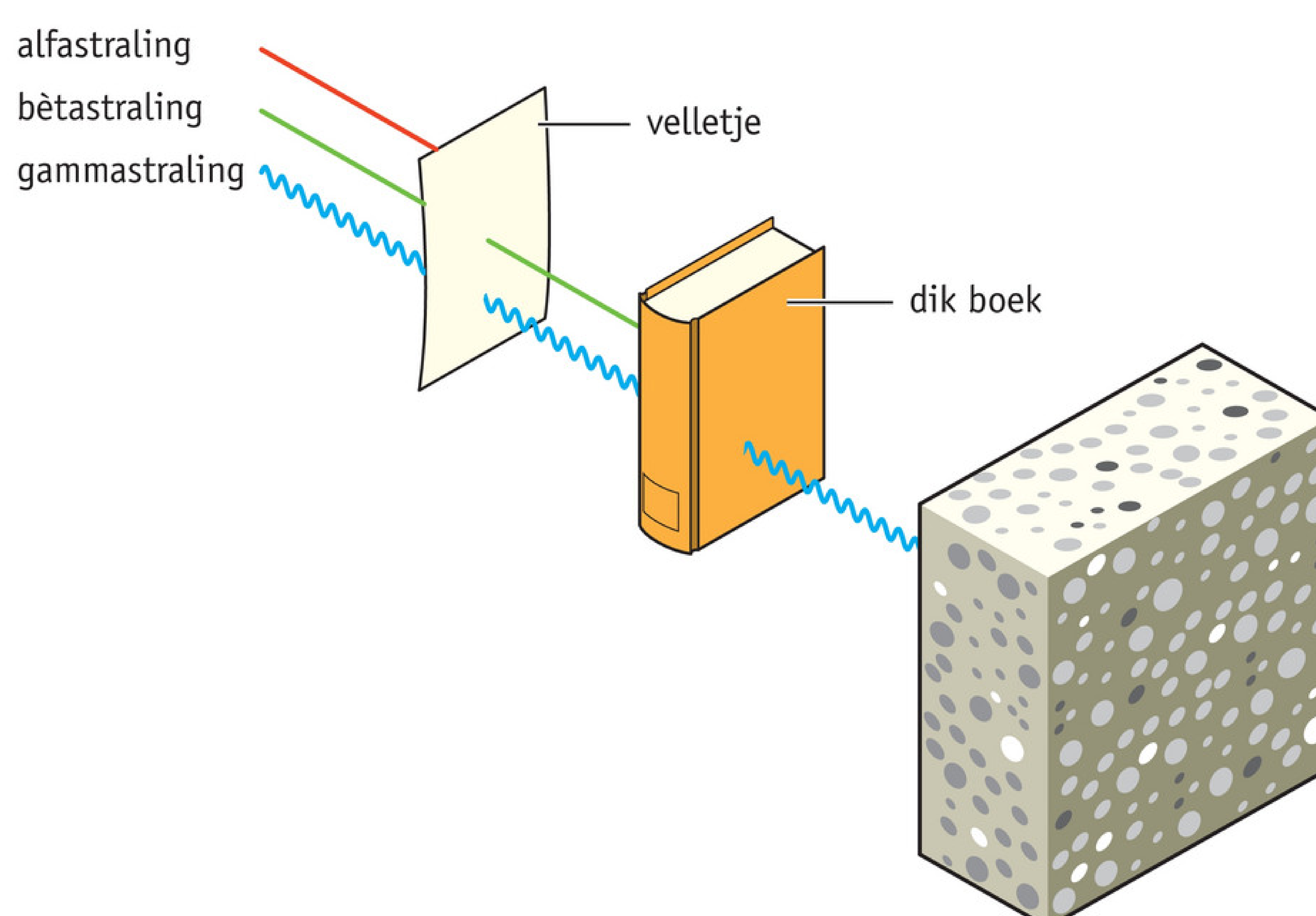
Sommige radioactieve stoffen zenden alfastraling uit, andere bètastraling. Meestal wordt er tegelijk met de deeltjesstraling ook elektromagnetische straling uitgezonden met een heel korte golflengte. Deze straling wordt **gammastraling** (γ-straling) genoemd. Gammastraling lijkt veel op röntgenstraling, ook wat de gezondheidseffecten betreft, maar is nog sterker ioniserend.

DOORDRINGEND VERMOGEN

Alfa- en bètadeeltjes kunnen tot een bepaalde afstand in een stof doordringen. Dan zijn ze door botsingen met de moleculen in de stof al hun bewegingsenergie kwijtgeraakt. De maximale afstand die ze kunnen afleggen, wordt de **dracht** genoemd. De dracht is voor elk soort straling anders en verschilt ook van stof tot stof.

Alfastraling heeft een kleine dracht. Een vel papier of een paar centimeter lucht houdt de stroom alfadeeltjes al tegen. De deeltjes kunnen ook niet de buitenste laag van je huid passeren. Bètastraling komt verder dan alfastraling. Maar een 4 mm dik plaatje aluminium kan de stroom bètadeeltjes stoppen; ook door een dik boek komen ze niet heen (figuur 4).

Gammastraling heeft een veel groter **doordringend vermogen** dan alfa- en bètastraling. Deze straling gaat dwars door stoffen heen, daarom kun je niet zeggen dat gammastraling een dracht heeft. De straling wordt wel steeds zwakker als ze verder in een stof doordringt, maar wordt nooit helemaal nul. Een centimeters dikke laag lood of een nog dikkere laag beton is nodig om gammastraling afdoende te verzwakken.



figuur 4 Het doordringend vermogen van alfa-, bèta- en gammastraling.

ONDERZOEK MET GAMMASTRALING

Gammastraling wordt in het ziekenhuis gebruikt om **scans** van organen te maken. Zo'n scan laat zien hoe een radioactieve stof zich in een orgaan verspreidt. Omdat gammastraling een groot doordringend vermogen heeft, gaat ze gemakkelijk door het lichaam heen, zodat ze daarna kan worden gedetecteerd. Met alfa- en bètastraling is dat onmogelijk.

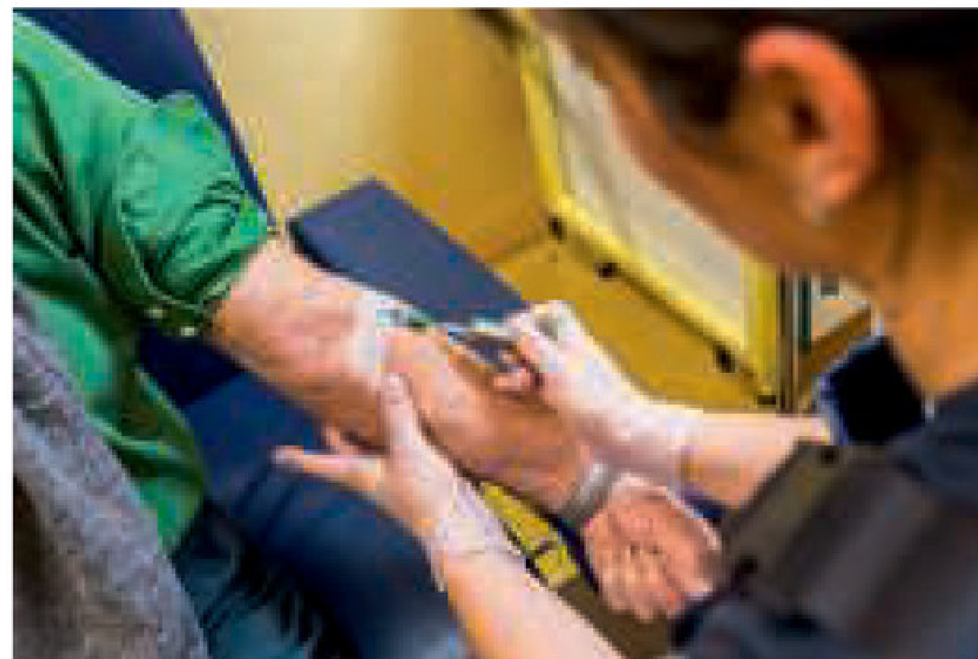
In figuur 5 zie je hoe een onderzoek met gammastraling verloopt.

1 In een laboratorium wordt een **tracer** (een radioactieve merkstof) gemaakt. Door de kunstmatige radioactiviteit van de moleculen van de tracer zijn ze zichtbaar voor detectoren van gammastraling.
2 De tracer wordt daarna in het lichaam van de patiënt gebracht. Meestal gebeurt dat door middel van een injectie. De tracer verspreidt zich door het lichaam en komt zo in de organen terecht die onderzocht worden.
3 De gammastraling die de tracer uitzendt, wordt geregistreerd door een **gammacamera**. Dat is een schijf met detectoren die in een boog om de patiënt heen beweegt. De detectoren 'zien' alleen de gammastraling die loodrecht op het detectoroppervlak valt.
4 Een computer gebruikt de meetgegevens van de detectoren om een beeld te construeren van het orgaan. Dit is een *false color image* waarin de intensiteit van de straling wordt aangegeven met verschillende kleuren. Meestal staat rood voor het hoogste stralingsniveau en blauw voor het laagste.

figuur 5 Het maken van een scan.



a In het laboratorium wordt een tracer gemaakt.

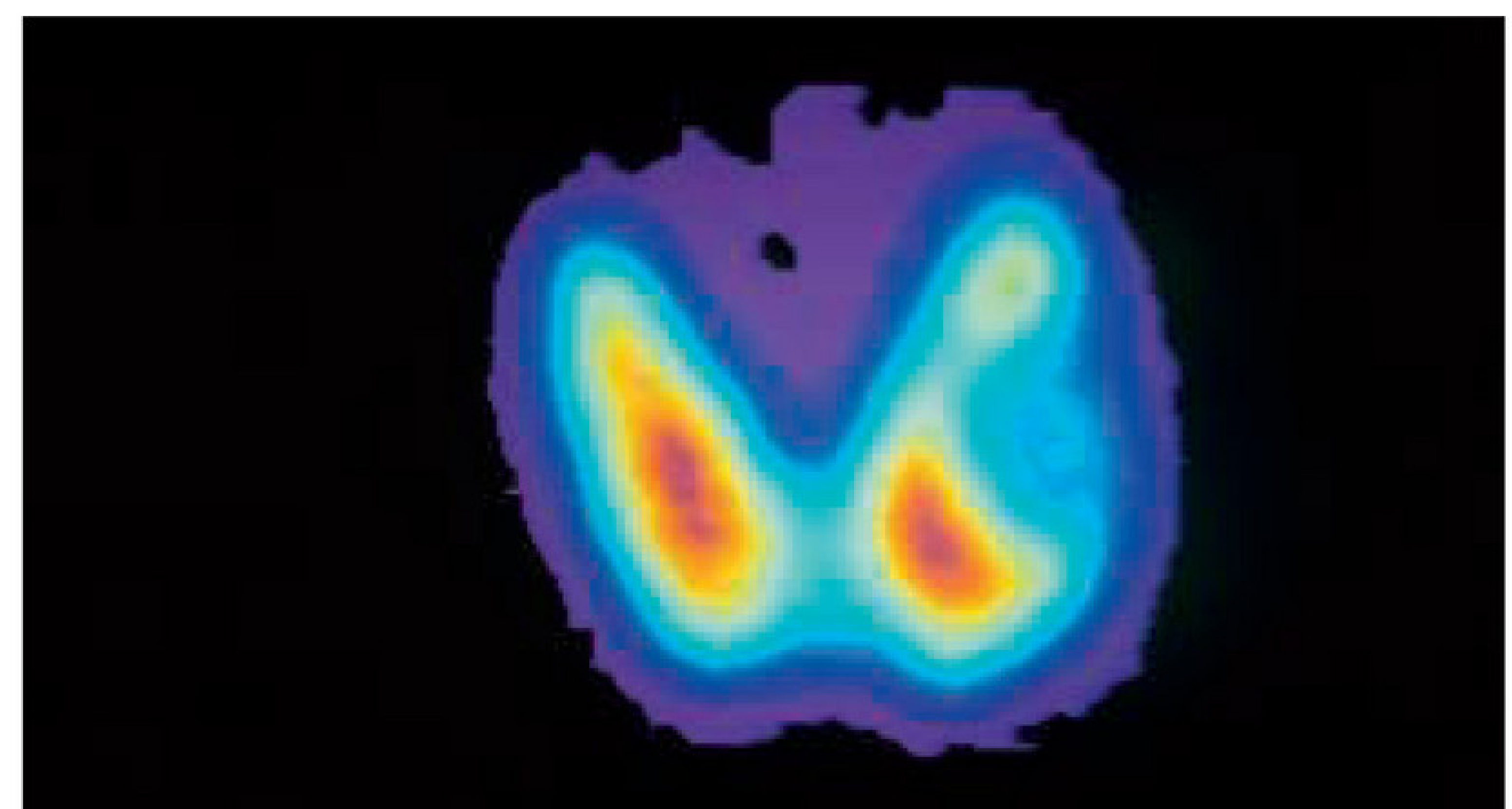


b De tracer wordt in het lichaam van de patiënt geïnjecteerd.



c De gammacamera registreert de vrijkomende straling.

In figuur 6 zie je het resultaat van een schildklieronderzoek. Als tracer is een stof gebruikt die door de schildklier uit het bloed wordt opgenomen. Het computerbeeld laat zien waar de tracer is terechtgekomen. Het is duidelijk dat een deel van de schildkleur niet goed werkt: de rechterhelft heeft minder tracer opgenomen dan de linkerhelft.



figuur 6 Een *false color image* van een schildklier.

BESTRALING EN BESMETTING

Röntgenstraling wordt geproduceerd door een apparaat dat alleen straling uitzendt als iemand op een knop drukt. Maar alfa-, bèta- en gammastraling worden altijd uitgezonden, ook als je de radioactieve bron niet gebruikt. Daardoor loop je altijd het risico dat je lichaam wordt bestraald als je in de buurt van een radioactieve bron komt.

Door het grote doordringende vermogen is gammastraling verreweg het gevaarlijkst. Radioactieve bronnen die gammastraling produceren moet je daarom goed afschermen. Net als bij röntgenstraling wordt daarvoor vaak lood gebruikt, omdat dit gammastraling sterk absorbeert (figuur 7).



figuur 7 Een container voor het vervoer van radioactieve stoffen. De binnen- en de buitenwand zijn van staal, met daartussen een dikke laag lood.

Als je van buitenaf wordt bestraald, wordt je lichaam niet radioactief, al zal er in je lichaam wel schade ontstaan. Maar radioactieve stoffen kunnen ook *in* je lichaam terechtkomen: met de lucht die je inademt, het water dat je drinkt en het voedsel dat je eet. Ook kunnen ze op je huid terechtkomen. Dit wordt **radioactieve besmetting** genoemd. Als gevolg van die besmetting loopt je lichaam niet alleen stralingsschade op, maar wordt je lichaam ook zelf een radioactieve bron.

Veel veiligheidsregels rond radioactiviteit hebben als doel besmetting te voorkomen (figuur 8). Je mag bijvoorbeeld niet eten of drinken in de buurt van radioactieve bronnen en je moet altijd je handen wassen nadat je met radioactieve bronnen hebt gewerkt. Als er toch besmetting plaatsvindt, moet je de besmette kleding uittrekken en gaan douchen. Zo kun je de radioactieve stof op je huid en in je haren wegspoelen.



figuur 8 Je moet een beschermend pak dragen bij het nemen van een monster van mogelijk radioactief besmet water.

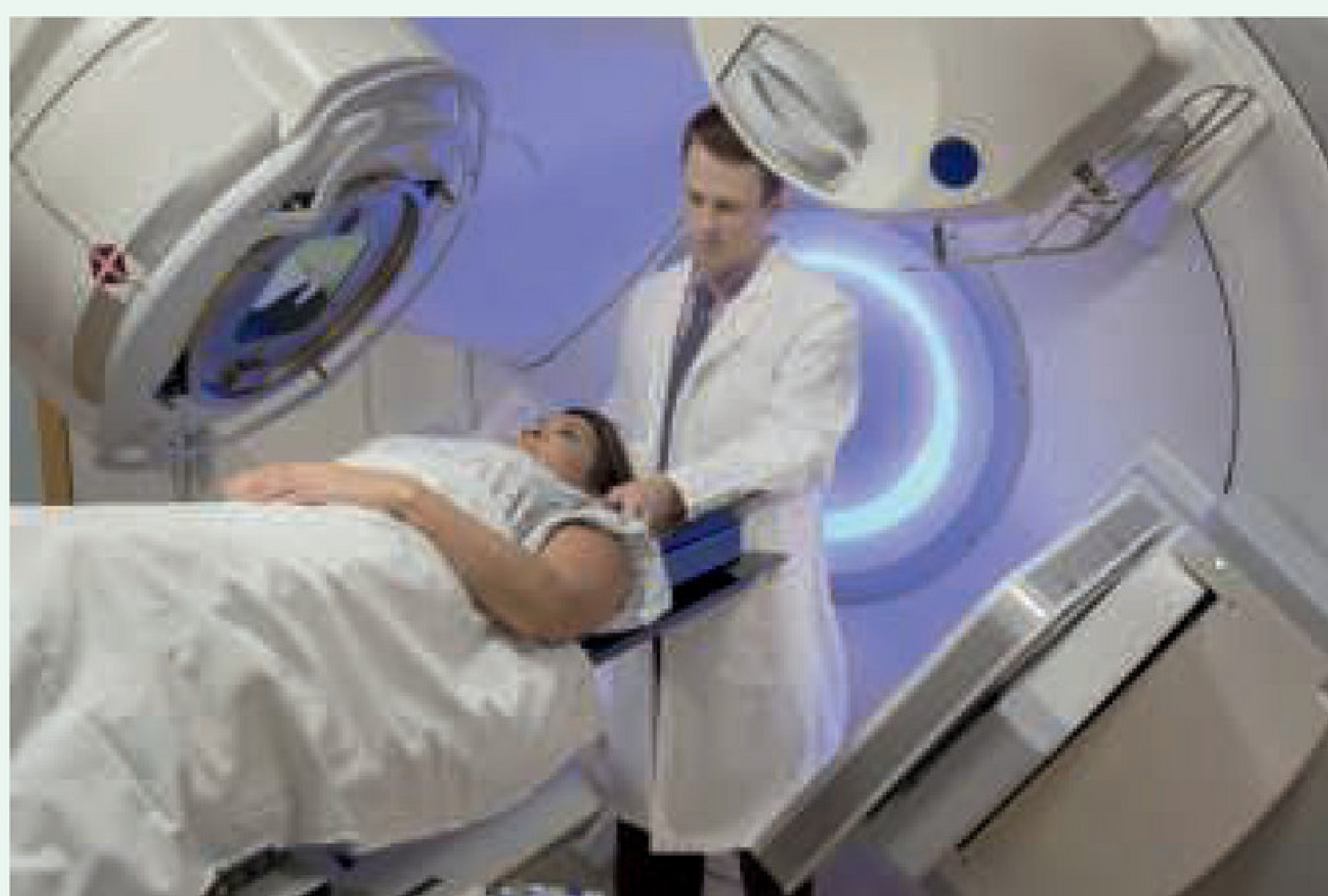
PLUS RADIOTHERAPIE

Radioactieve bronnen worden niet alleen gebruikt voor het stellen van een diagnose, maar ook bij de behandeling van tumoren. Het vernietigen van kankercellen met behulp van straling wordt **radiotherapie** genoemd. Radiotherapie wordt vaak gebruikt bij de behandeling van kanker, meestal in combinatie met opereren en chemotherapie.

Als tumorcellen straling absorberen, beschadigt het DNA in de cel. Wanneer het DNA te veel schade oploopt, kan de cel niet meer delen en sterft hij af. Helaas geldt hetzelfde voor de gezonde cellen. Daarom is het van belang om gericht te bestralen, zodat zo veel mogelijk tumorcellen worden bestraald en zo weinig mogelijk gezonde cellen.

Uitwendige bestraling

Bij **uitwendige bestraling** bevindt de radioactieve bron zich buiten het lichaam. De bron zendt röntgen- of gammastraling uit. Tijdens de behandeling wordt de bron rondom de patiënt gedraaid, zodat de straling niet telkens van dezelfde kant komt (figuur 9).



figuur 9 Apparaat voor uitwendige bestraling. De radioactieve bron bevindt zich links boven de patiënt.

Inwendige bestraling

Bij **inwendige bestraling** wordt de radioactieve bron in het lichaam gebracht. De radioactieve stof wordt verpakt in kleine metalen staafjes (figuur 10) die een arts in de tumor implanteert. Er wordt gebruikgemaakt van stoffen die gamma- en bètastraling uitzenden. Aan het einde van de behandeling worden de staafjes weer verwijderd.



figuur 10 Staafjes die worden gebruikt bij inwendige bestraling.



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Wat wordt bedoeld met 'de halfwaardetijd van een radioactieve stof'?
b Welke soorten deeltjesstraling worden door radioactieve stoffen uitgezonden?
c Welk soort straling van een bron buiten je lichaam is het gevaarlijkst? Waarom?
d Wat is het verschil tussen bestraling en (radioactieve) besmetting?

2 Bij medisch onderzoek worden radioactieve merkstoffen gebruikt om afbeeldingen van het lichaam te maken.

a Een radioactieve merkstof wordt ook wel een .... genoemd.

b De straling die zo'n merkstof uitzendt is ....

c Waarom zijn andere soorten straling niet geschikt voor dit soort onderzoek?
d Waarom worden voor dit onderzoek kunstmatig radioactieve stoffen gebruikt met een korte halveringstijd?

TOEPASSING

3 De hoeveelheid straling die een radioactieve bron uitzendt, neemt steeds verder af.

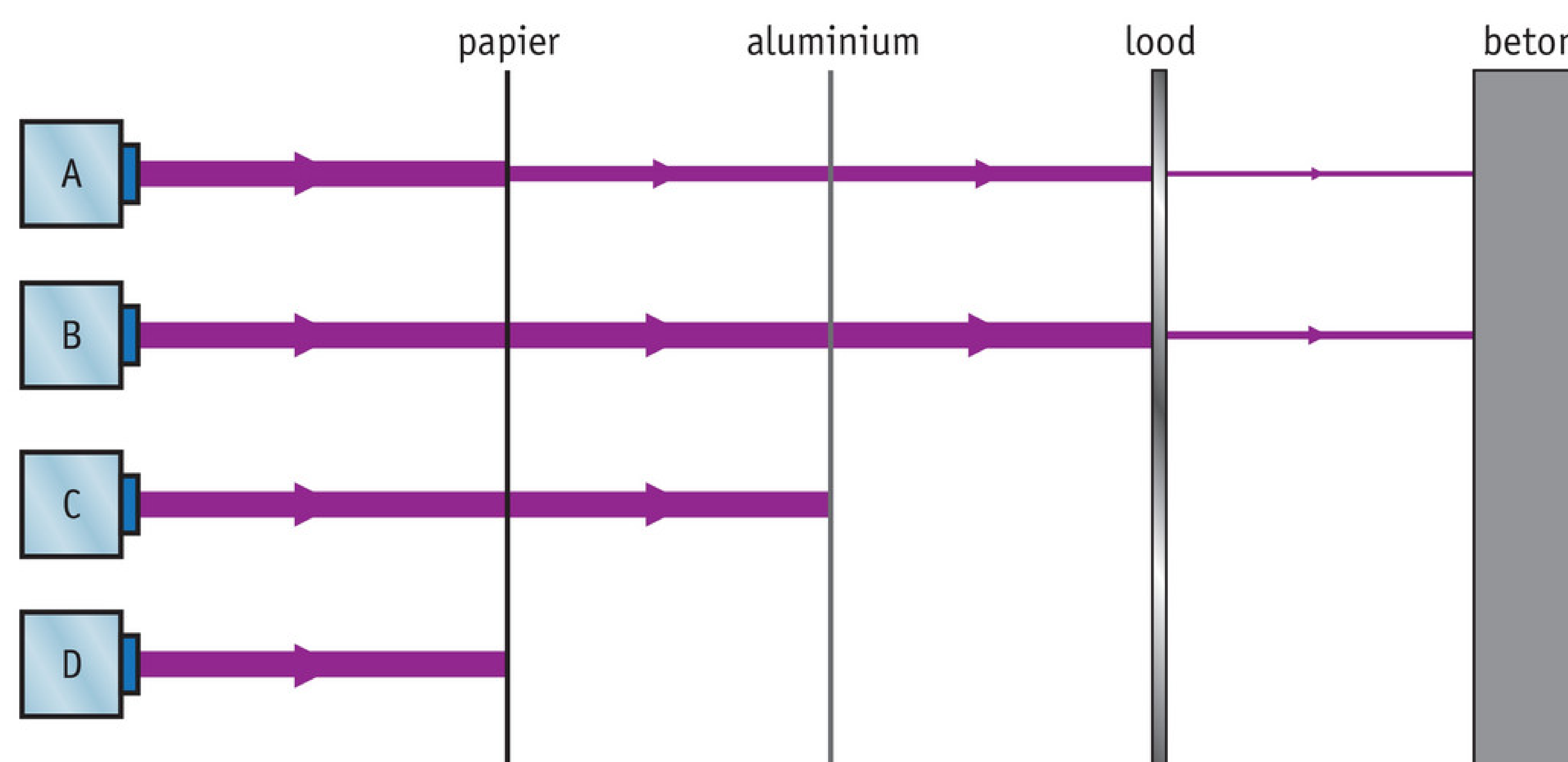
a Bereken de ontbrekende gegevens in tabel 1 en vul ze in.

b Na .... halveringstijden is er minder dan 1% over van de oorspronkelijke hoeveelheid straling.

tabel 1 Zo neemt de straling af.

aantal halfwaardetijden	hoeveelheid overgebleven straling
0	100%
1	50%
2	25%
3	
4	
5	
6	

4 Esther plaatst vier radioactieve bronnen voor plaatjes van verschillend materiaal (figuur 11). De dikte van de pijlen is een maat voor de hoeveelheid straling. Ze weet dat één bron alleen alfastraling uitzendt, één bron alleen bètastraling, één bron alleen gammastraling en één bron zowel alfastraling als gammastraling.
Geef van elke bron aan welk(e) soort(en) straling hij uitzendt en leg je antwoord uit.



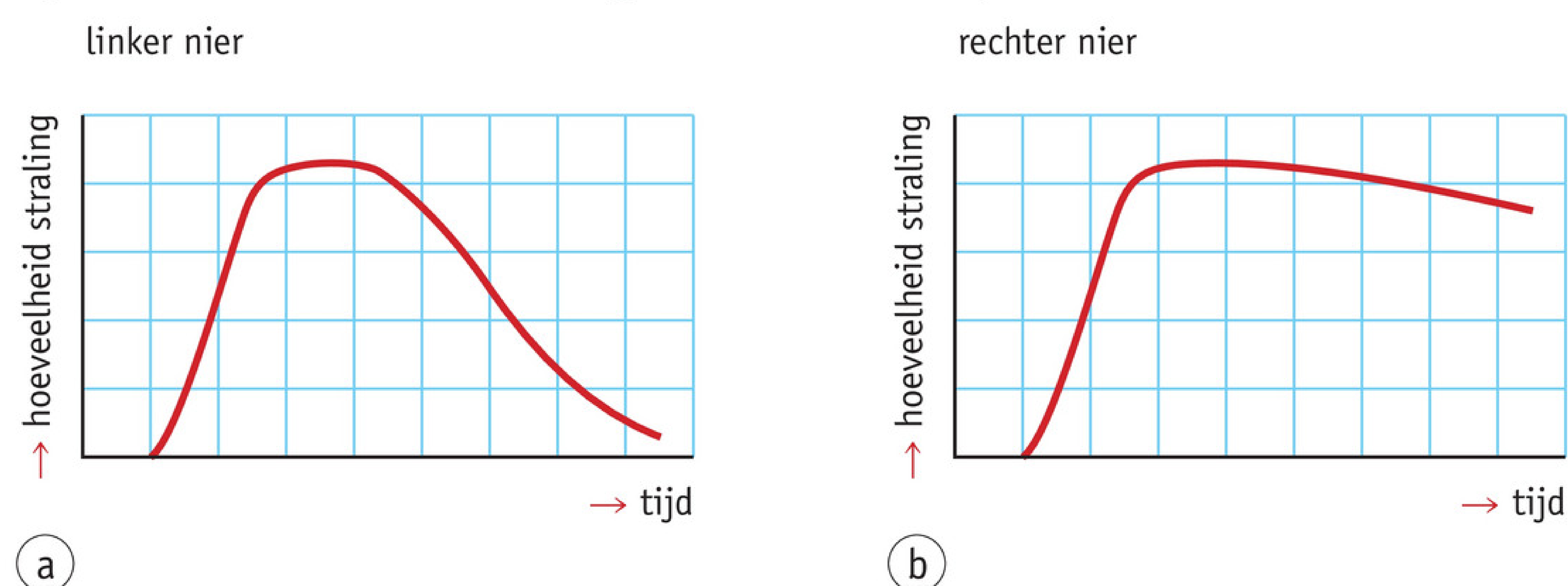
figuur 11 De proef van Esther met vier radioactieve bronnen.

5 De werking van de nieren kun je onderzoeken met een radioactieve tracer. De tracer wordt door een injectie in de bloedbaan gebracht. Als de nieren goed werken, zullen ze de tracer snel uit het bloed halen en afvoeren naar de blaas.

a Twee detectoren meten de hoeveelheid straling die de nieren uitzenden. In figuur 12 zie je hoe de hoeveelheid straling verandert met de tijd.
Welke nier functioneert wel goed en welke niet? Leg uit waaraan je dat kunt zien.

b De gebruikte radioactieve stof heeft een halveringstijd van 6 uur.
Leg uit waarom 6 uur voor dit onderzoek een geschikte waarde is.

figuur 12 De hoeveelheid straling als functie van de tijd.

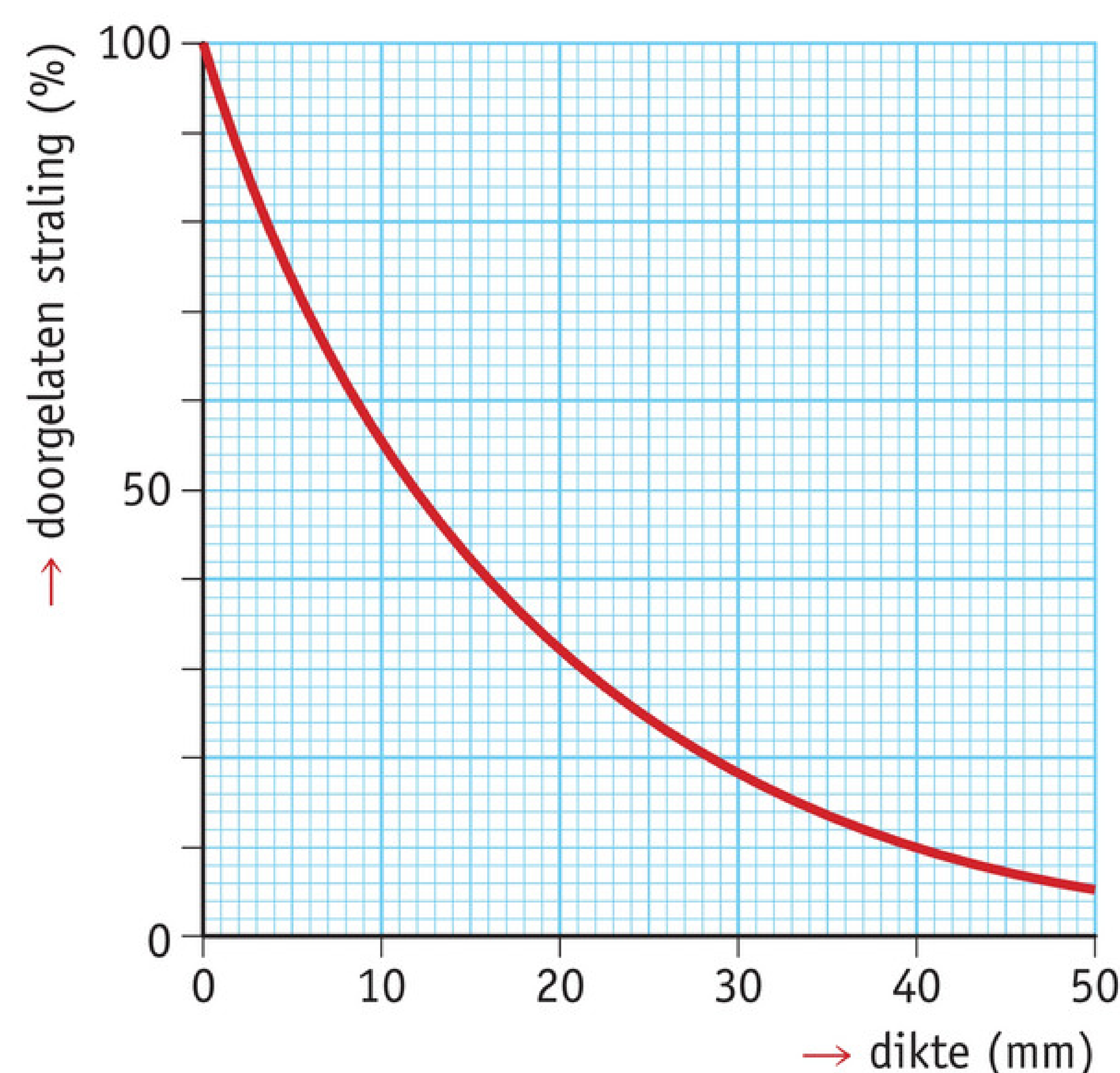


6 Lood wordt vaak gebruikt voor afscherming tegen gammastraling.

a Bepaal met figuur 13 hoe dik een loden afscherming moet zijn:

- om 50% van de opvallende gammastraling te absorberen: .... mm
- om 90% van de opvallende gammastraling te absorberen: .... mm

b Een container bevat een radioactieve bron die gammastraling uitzendt. De container heeft loden wanden met een dikte van 4,5 cm.
Bepaal hoeveel procent van de uitgezonden gammastraling de container tegenhoudt.



figuur 13 Hoe dikker de laag lood, hoe minder gammastraling wordt doorgelaten.

7 Na een behandeling in het ziekenhuis kan de urine van een patiënt radioactief zijn. De urine moet dan worden opgevangen en behandeld als radioactief afval.
Leg uit of deze veiligheidsmaatregel nodig kan zijn:

a bij patiënten die uitwendig bestraald zijn;

b bij patiënten die inwendig bestraald zijn.

8 De veiligheidsregels voor het werken met stralingsbronnen zijn gebaseerd op vier uitgangspunten: een grote afstand, een korte tijd, een goede afscherming en het voorkomen van besmetting.
Geef van elke regel van figuur 14 aan op welk uitgangspunt die is gebaseerd.

1 Voer alle handelingen snel, maar wel precies uit.
2 Neem alleen de hoeveelheid die nodig is en laat de rest in de voorraadkamer staan.
3 Pak de stralingsbron niet met de handen beet.
4 Draag een loodschort als je met radioactieve stoffen werkt (zie foto).



figuur 14 Veiligheidsregels voor de omgang met radioactieve bronnen.

9 Voedselbestraling is een techniek om voedsel langer houdbaar te maken. Door het voedsel te bestralen worden bacteriën, schimmels, insecten en veel andere parasieten gedood. Voedselbestraling vertraagt ook het rijpingsproces en het spruiten van groenten.

a Worden de producten radioactief door bestraling?

b Waarom wordt voor het bestralen gammastraling gebruikt?

c Waardoor komt het dat groenten minder snel spruiten als ze bestraald zijn?

d Veel mensen willen absoluut geen bestraalde levensmiddelen kopen. Vind je dat terecht? Waarom wel/niet?



Test je kennis met de *Test jezelf*.

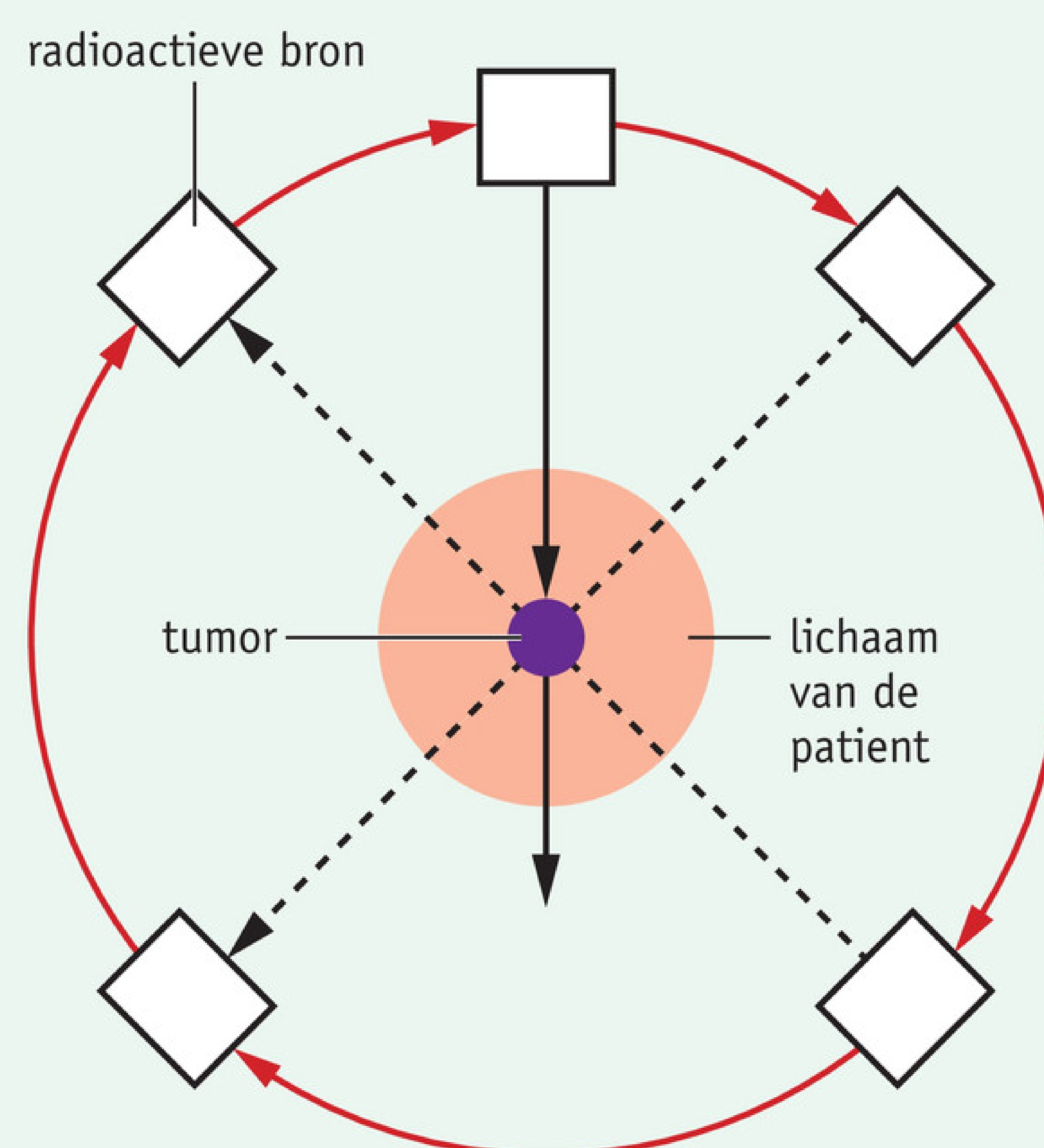
PLUS RADIOTHERAPIE

10 In figuur 15 zie je hoe een tumor wordt bestraald. Tijdens de behandeling draait een bron met kobalt-60 rond het lichaam van de patiënt.

a Welk soort straling moet kobalt-60 in elk geval uitzenden? Licht je antwoord toe.

b Leg uit waarom de bron in een cirkel rond de patiënt draait.

c De bron zit opgesloten in een loden omhulsel met één opening. Leg uit waar die opening voor dient en waar die zich dus bevindt.



figuur 15 Een radioactieve bron draait rond een patiënt.

11

a Leg uit of er bij uitwendige bestraling sprake is van bestraling of besmetting.

b Leg uit of er bij inwendige bestraling sprake is van bestraling of besmetting.

c Leg uit dat een patiënt die inwendig wordt bestraald geen bezoek mag ontvangen tijdens de behandeling.

12 Voor inwendige bestraling worden verschillende stralingsbronnen gebruikt. In tabel 2 zie je welk type straling deze bronnen uitzenden en hun halveringstijd.

a Leg uit waarom ruthenium-106 wel voor inwendige bestraling geschikt is, maar niet voor uitwendige bestraling.

b Jodium-131 wordt gebruikt bij de behandeling van mensen die een te actieve schildklier hebben. De patiënt krijgt een radioactief drankje met jodium-131, dat zich vooral hecht aan de actieve schildkliercellen. Deze cellen worden beschadigd en sterven af, waardoor de schildklier weer een normale activiteit krijgt. Geef een voordeel en een nadeel van de korte halveringstijd van jodium-131.

tabel 2 Type straling en halveringstijd van stralingsbronnen die worden gebruikt voor inwendige bestraling.

stralingsbron	type straling	halveringstijd
cesium-137	γ-straling	30,17 jaar
kobalt-60	γ-straling	5,26 jaar
iridium-192	γ-straling	74,0 dagen
jodium-125	röntgenstraling	59,6 dagen
palladium-103	röntgenstraling	17,0 dagen
ruthenium-106	β-straling	1,02 jaar
jodium-131	β-straling	8,0 dagen

Practica

PROEF 1 HET BRANDPUNT BEPALEN

30 minuten

Inleiding

Als een evenwijdige lichtbundel loodrecht op een lens valt, wordt het licht gebroken naar één punt: het brandpunt F. De afstand tussen het midden van de lens en het brandpunt noem je de brandpuntsafstand *f*.

Doel

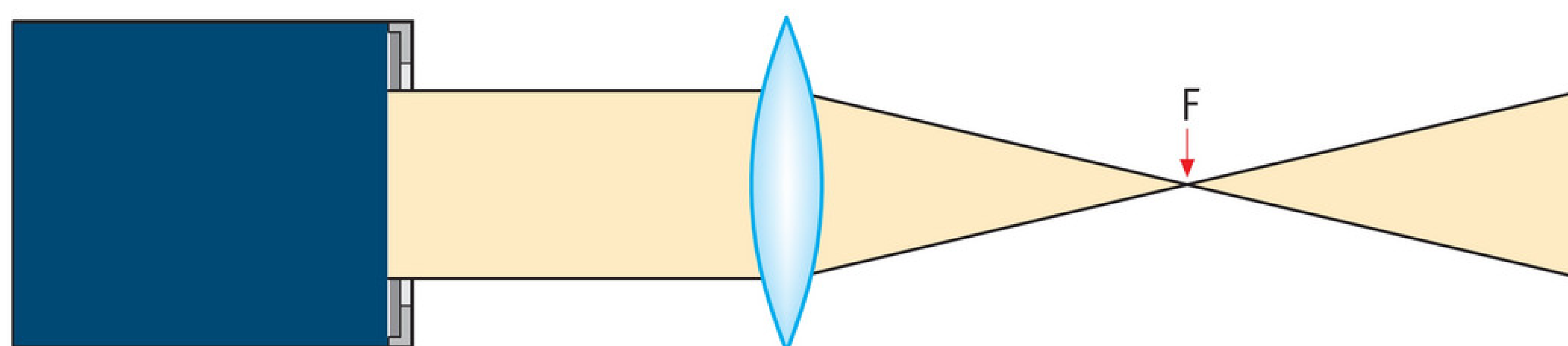
De onderzoeksvraag luidt:
Komt de gemeten brandpuntsafstand overeen met de waarde die de fabrikant heeft opgegeven?

Nodig

- ☐ lichtkastje
- ☐ verschillende positieve schijflenzen
- ☐ negatieve schijflens
- ☐ vel wit papier

Uitvoeren en uitwerken

- Verschuif het lampje in het lichtkastje zodanig dat er een evenwijdige lichtbundel op het papier valt. De lichtbundel moet smaller zijn dan de kleinste lens. Controleer of de lichtbundel ook echt evenwijdig is.
- Zet een positieve lens op een vel papier in de evenwijdige lichtbundel (figuur 1). Geef op het papier het brandpunt aan met de letter F.
- Markeer de plaats van de lens. Draai de lens om. Verandert daardoor de plaats van het brandpunt?
- Meet de brandpuntsafstand van elke lens.
- Plaats een negatieve lens in de lichtbundel. Bedenk hoe je dan de brandpuntsafstand bepaalt.



figuur 1 Zo plaats je de lens in de evenwijdige lichtbundel.

1 Rangschik de lenzen in volgorde van sterkte: de lens met de kleinste sterkte voorop.

....

....

....

2 Hoe had je van tevoren al kunnen voorspellen welke lens het sterkst was?

....

....

....

3 Beantwoord de onderzoeksvraag.

....

....

....

....

PROEF 2 BEELDVORMING BIJ EEN BOLLE LENS

20 minuten

Inleiding

Met een positieve lens kun je een voorwerp afbeelden op een scherm. Als het beeld scherp is, komt al het licht uit een punt van het voorwerp via de lens bij elkaar in één punt op het scherm.

Doel

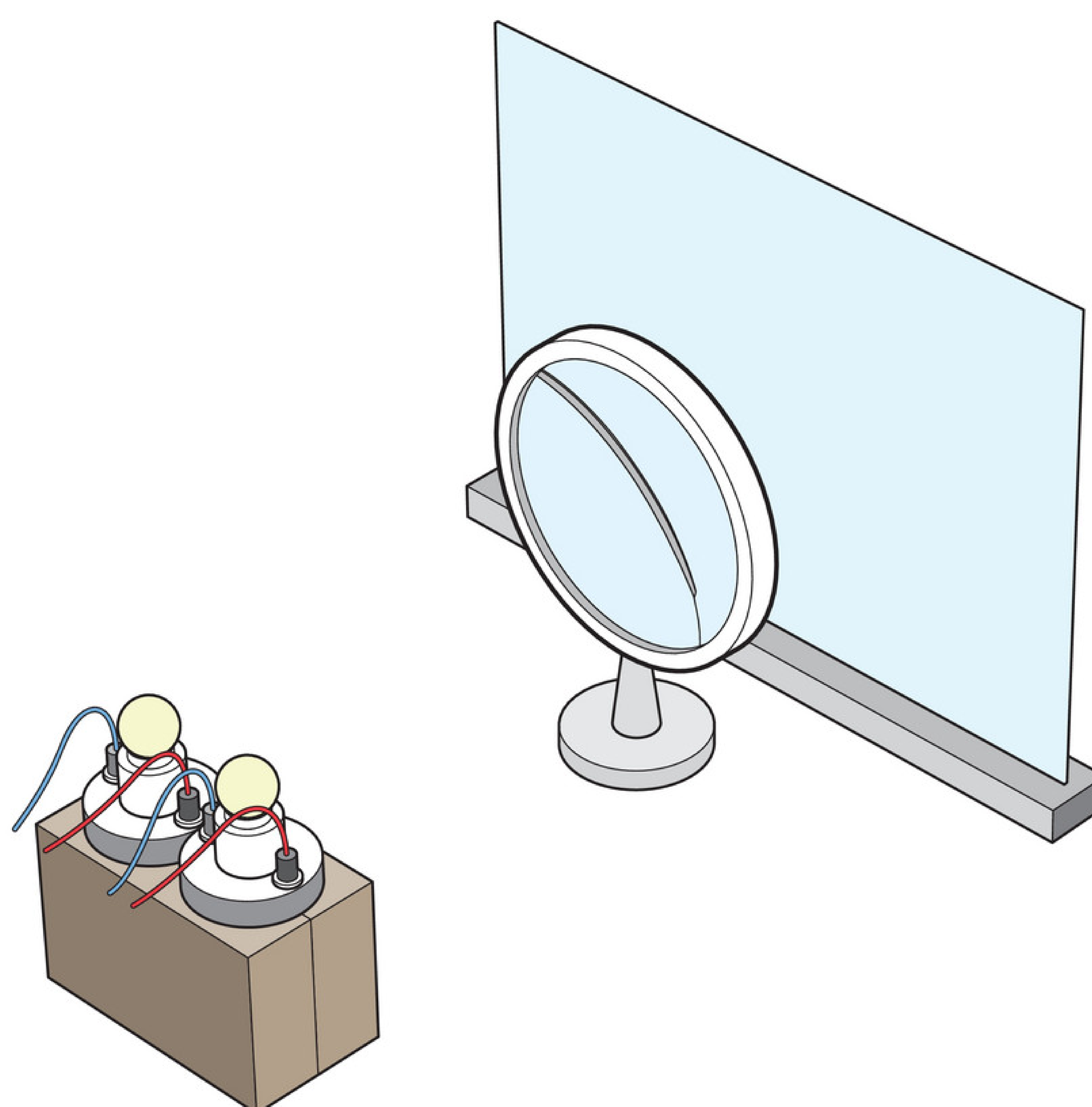
De onderzoeksvraag luidt:
Hoe maakt een positieve lens een beeld op een scherm?

Nodig

- ☐ positieve lens (f = 10 cm)
- ☐ lenshouder
- ☐ scherm
- ☐ blokje met twee lampjes
- ☐ spanningsbron
- ☐ twee snoeren
- ☐ liniaal

Uitvoeren en uitwerken

- Maak de opstelling van figuur 2.
- Zet de lens op 15 cm van het lampje.
- Zet het scherm 5 cm achter de lens.



figuur 2 De opstelling van proef 2.

1 Meet de doorsnede van een van de lichtvlekken op het scherm.

....

- Schuif het scherm 5 cm verder bij de lens vandaan.

2 Worden de lichtvlekken groter of kleiner?

....

3 Lopen de lichtstralen van de bundel bij het scherm naar elkaar toe of van elkaar af?

....

- Schuif het scherm verder naar achteren tot de lichtvlekken het kleinst zijn. Je ziet dan een scherp beeld van beide lampjes.

4 Worden de lampjes rechtop of ondersteboven afgebeeld?

....

- Dek het linker lampje af met je hand.

5 Verdwijnt dan het linker of het rechter lampje uit beeld?

....

- Houd het ene lampje boven het andere. Dek het bovenste lampje af met je hand.

6 Verdwijnt dan het onderste of het bovenste lampje uit beeld?

....

- Schuif het scherm nog 10 cm verder bij de lens vandaan. Bekijk de lichtvlekken die je nu op het scherm ziet.

7 Lopen de lichtstralen van de bundels op deze plaats naar elkaar toe of van elkaar af?

....

8 Lees je antwoorden op opdracht 1 tot en met 7 nog eens door.

a Beschrijf hoe de lichtvlekken veranderen als je het scherm steeds verder bij de lens vandaan schuift.

....

....

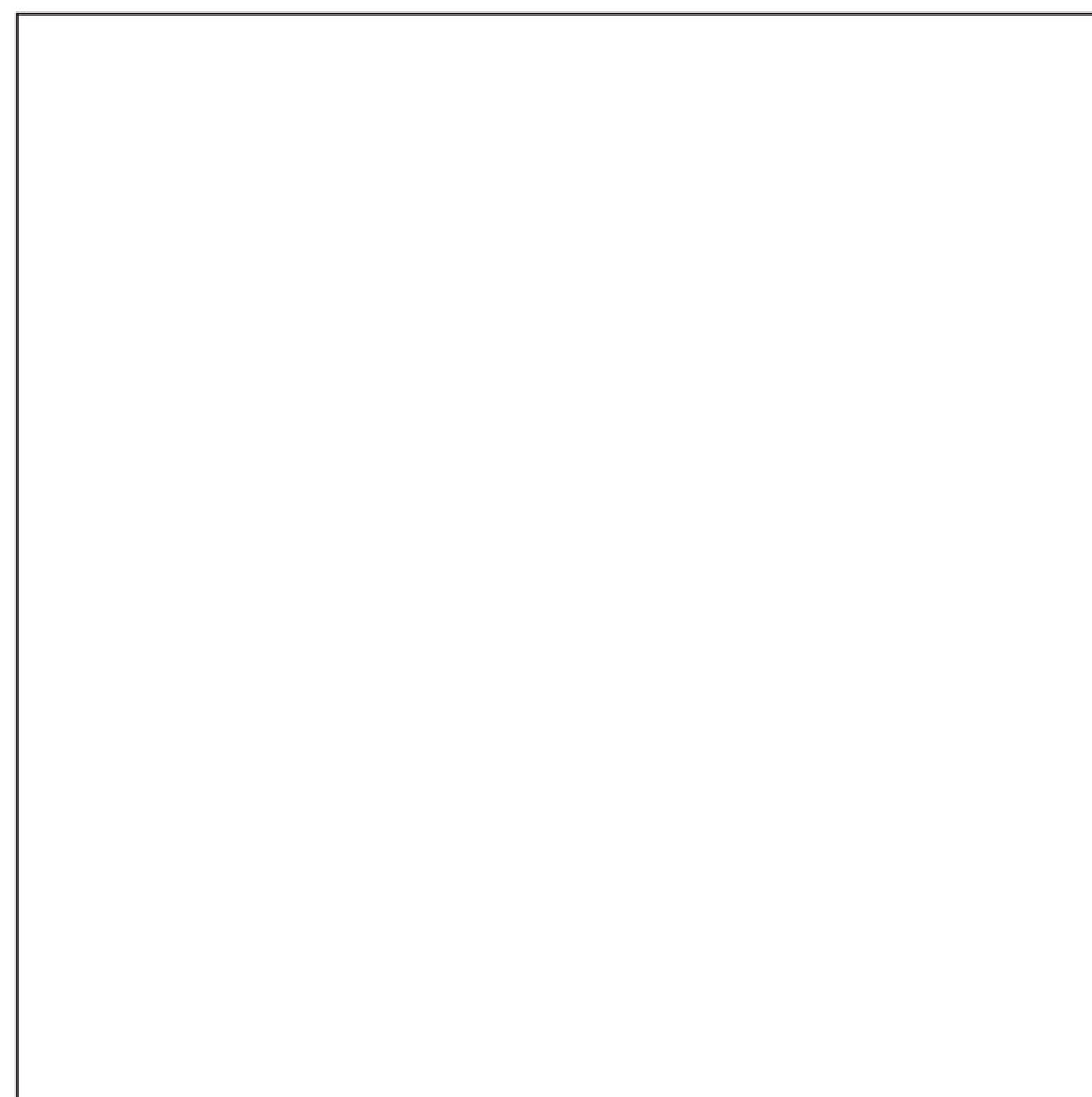
....

....

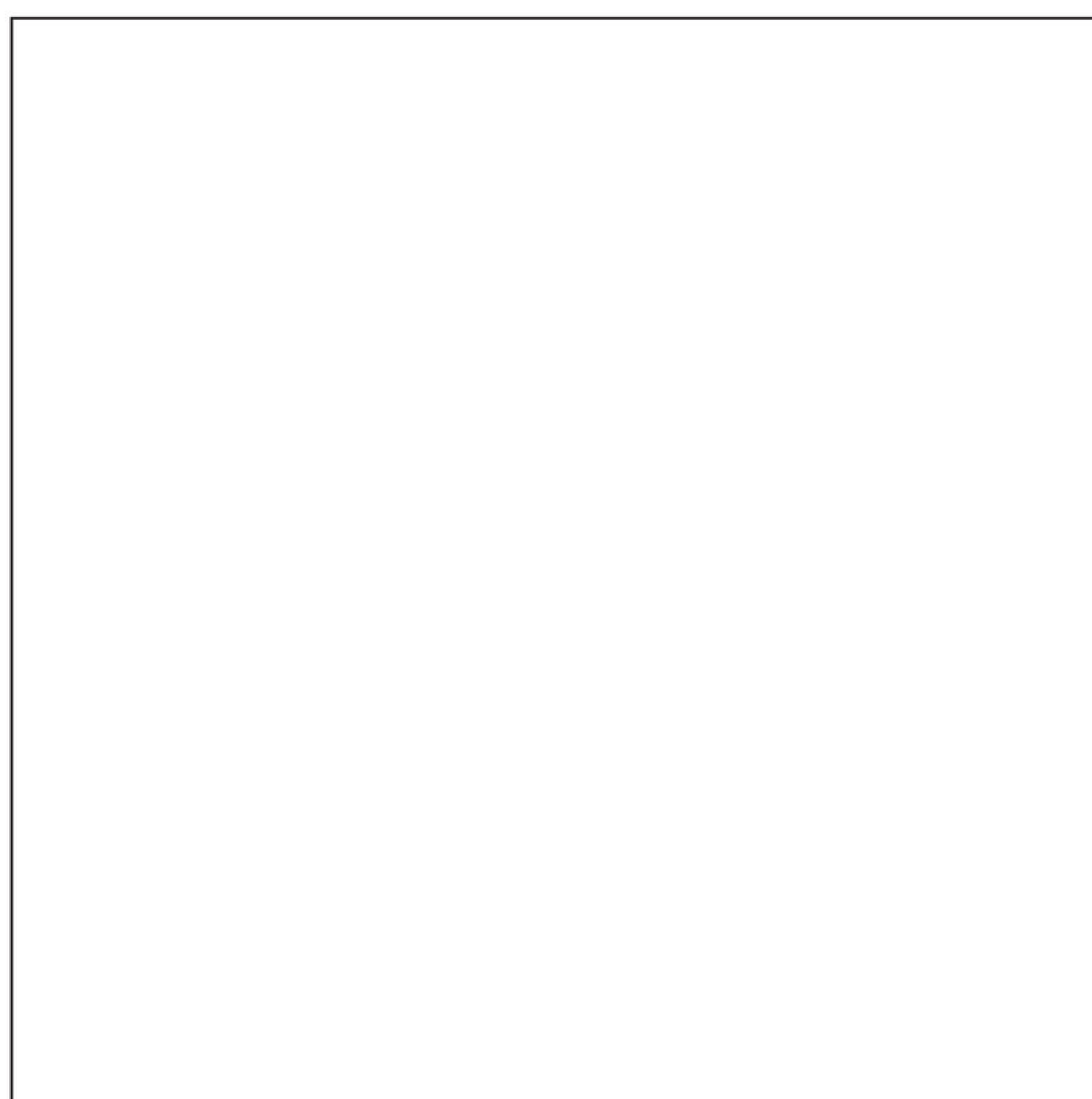
....

b Leg uit waardoor het komt dat de lichtvlekken zo veranderen. Tip: maak een schets bij je uitleg.

....
....
....
....
....
....
....
....



c Leg met een tekening uit hoe je het resultaat van opdracht 5 en 6 kunt begrijpen.



d De lens maakt een scherp beeld. Dan vervang je de lens door een sterkere lens. Hoe moet je het scherm dan verschuiven om weer een scherp beeld te krijgen?

....
....
....

9 Beantwoord de onderzoeksvraag.

....
....
....

PROEF 3 EEN ONTWERP MAKEN – DE CAMERA OBSCURA

60 minuten

Inleiding
Een camera obscura is de voorloper van de fotocamera met lens.

Doel
Je bouwt zelf een camera obscura.

Uitvoeren en uitwerken
- Zoek op wat een camera obscura is.
- Zoek een eenvoudige bouwtekening en leg die voor aan je docent.
- Bouw de camera en test hem uit.
- Vergelijk de kwaliteit van jouw camera met die van andere groepjes.

Tips
- Het omhulsel van de camera obscura moet lichtdicht zijn.
- Zorg er bij het testen voor dat je zelf in het donker staat. Je kunt bijvoorbeeld een doek over je hoofd doen.

De volgende proeven staan in de online leeromgeving. Je docent beslist welke van deze proeven worden uitgevoerd.

PROEF 4 DE LENZENFORMULE

45 minuten

Inleiding
Je doet onderzoek naar het verband tussen de brandpuntsafstand, de voorwerpsafstand en de beeldafstand.

PROEF 5 EEN ONDERZOEK UITVOEREN NAAR DE BREKINGSINDEX

80 minuten

Inleiding
Je bepaalt de brekingsindex van vloeistoffen.

PROEF 6 EEN ONTWERP MAKEN – DE STERRENKIJKER

90 minuten

Inleiding
Je ontwerpt een sterrenkijker.

De kunst van het ontmaskeren

Het is de nachtmerrie van elke kunstverzamelaar: een bedrag met vijf nullen neertellen voor een schilderij uit de gouden eeuw en dan later horen: “Sorry meneer, mevrouw, we hebben het onderzocht en er is helaas geen twijfel mogelijk. Dat schilderij van u kan onmogelijk in de zeventiende eeuw zijn gemaakt. Het doek is antiek, maar de verf is recent, nog geen veertig jaar oud. Het lijkt erop dat u zich hebt laten beetnemen ...”

Het zijn niet alleen kunstliefhebbers die zich laten bedriegen. Het overkomt de echte professionals net zo goed. In België ontstond enkele jaren geleden rumoer rond een *Madonna met Kind* van – dacht iedereen – meesterschilder Rogier van der Weyden (1399–1464). Het schilderij hing al vijftig jaar in het Museum voor Schone Kunsten in Doornik en was volgens kenners een meesterwerk. Iedereen was dan ook stomverbaasd toen de waarheid aan het licht kwam. Uit onderzoek bleek dat de *Madonna met Kind* het werk is van een twintigste-eeuwse vervalser. “Niets op het doek is vijftiende-eeuws,” aldus Roger Van Schoute, een van de deskundigen. En toch ziet het schilderij er volkomen authentiek uit, tot het *craquelé* (de haarscheurtjes in de verf) aan toe.

VERBORGEN LAGEN

Kunstkenners zullen het niet snel toegeven, maar een goede vervalsing herken je niet met het blote oog. Verzamelaars en museumdirecteuren vertrouwen daarom steeds vaker op wetenschappelijk onderzoek. Daarbij wordt op allerlei manieren naar het schilderij gekeken: niet alleen met zichtbaar licht, maar ook met infrarode straling, ultraviolette straling en röntgenstraling. Elke vorm van straling onthult bijzonderheden die je anders niet te zien krijgt.

“Kunstkenners zullen het niet snel toegeven, maar een goede vervalsing herken je niet met het blote oog.”

Een olieverfschilderij heeft een complexe opbouw met verschillende lagen en laagjes. De onderste laag is de drager: een opgespannen doek of een houten paneel. Daarop bracht de schilder eerst een plamuurlaag aan. Vervolgens maakte hij met houtskool een tekening van de compositie die hij had uitgedacht.

Pas daarna begon het echte schilderen met olieverf. Ook dat ging in lagen: eerst een onderschildering met weinig kleur en daarna allemaal dunne, halfdoorzichtige verflaagjes. Langzaam ontstond een schilderij met levensechte diepe kleuren. Ten slotte werd een doorzichtige vernislaag op de schildering aangebracht als bescherming tegen stof en vuil.

EEN SCHILDERIJ DOORLICHTEN

Voor elke laag bestaan er andere onderzoekstechnieken (figuur 1). De vernislaag wordt getest met uv-straling. Die laat het vernis oplichten, zoals een bankbiljet oplicht onder een uv-lamp. Daarbij zet het vernis de opvallende uv-straling om in zichtbaar licht. De natuurlijke vernissen uit vroegere eeuwen stralen dan groengeel licht uit. Moderne synthetische vernissen lichten op in wit of paars.

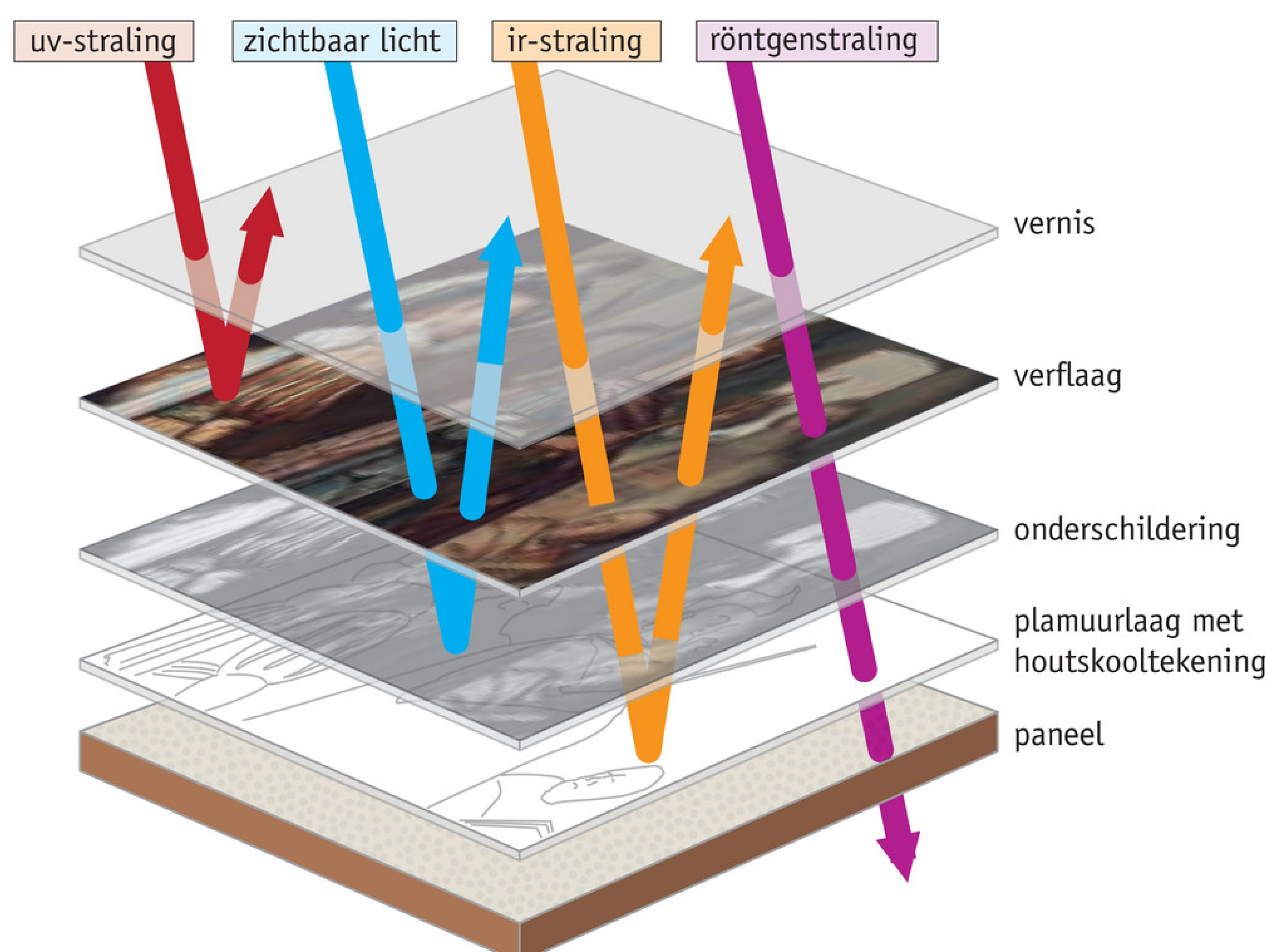
Voor de dieper gelegen verflagen gebruikt een onderzoeker röntgenstraling. Elke verflaag bestaat uit kleine korreltjes pigment (kleurstof) in een bindmiddel, zoals lijnolie. Pigmenten met zware metalen speelden vroeger een belangrijke rol in de schilderkunst (figuur 2). De oude meesters gebruikten onder andere loodwit (een loodverbinding), lood-tingeel (een loodverbinding met tin) en vermiljoen (een rode verbinding van kwik en zwavel). Deze pigmenten zijn erg giftig. Nu worden ze weinig of niet meer gebruikt, maar eens waren ze in elk schildersatelier te vinden.

De meeste pigmenten laten röntgenstraling ongehinderd passeren, maar dat geldt niet voor pigmenten die zware metalen bevatten. Omdat ze röntgenstraling absorberen, zijn ze goed zichtbaar op een röntgenfoto.

Loodwit was een belangrijk bestanddeel van de onderschildering, de eerste globale versie van een olieverfschilderij, die als basis diende voor de volgende lagen. Je kunt zo'n onderschildering goed onderscheiden op een röntgenfoto dankzij het absorberende loodwit. De onderschildering moet in grote lijnen overeenkomen met het schilderij dat je ziet. Als de onderschildering er heel anders uitziet, is dat een aanwijzing voor fraude.



figuur 2 Pigmenten met zware metalen.



figuur 1 Voor het onderzoek van de verschillende lagen worden verschillende soorten straling gebruikt.



figuur 3 Op dit schilderij zie je de houtskooltekening.



figuur 4 Met de ir-straling zijn de houtskoollijnen van de ondertekening ontmaskerd.

REFLECTIES IN INFRAROOD

De schilder maakte daarna op de plamuurlaag met houtskool een tekening (figuur 3). Houtskool bestaat uit koolstof en dat laat röntgenstraling gewoon door. De tekening kun je daarom met röntgenstraling niet zichtbaar maken. Dat kan wel met ir-straling.

De ir-straling passeert de verflagen van het schilderij, wordt weerkaatst door de plamuurlaag en komt dan weer terug naar buiten. Het gaat anders op plaatsen waar houtskool is aangebracht. Houtskool is zwart en absorbeert de ir-straling. De houtskoollijnen van de tekening reflecteren de ir-straling daardoor niet of nauwelijks (figuur 4). Een infraroodcamera vangt de gereflecteerde straling op en zet die om in een zwart-witbeeld. Daarop is de houtskooltekening verrassend duidelijk te zien. Onderzoekers gaan dan na of die tekening van de meesterschilder zelf is. Als dat zo is, gaat het hoogstwaarschijnlijk om een origineel werk. Als dat niet zo is, is het schilderij waarschijnlijk gemaakt door iemand anders.

DATEREN MET KOOLSTOF-14

In schilderijen zitten altijd natuurlijke materialen, zoals het schilderslinnen of het hout waarop werd geschilderd. Deze materialen zijn van plantaardige oorsprong en je kunt ze daarom dateren met de koolstof 14-methode (zie kadertekst). Door te kijken naar de hoeveelheid radioactief koolstof-14 in het materiaal kun je de ouderdom ervan vrij nauwkeurig bepalen.

Als de koolstof 14-methode een veel te jonge leeftijd oplevert, weet je dat het om een vervalsing moet gaan. Het omgekeerde gaat niet op. Een vervalser kan een oud, maar waardeloos schilderij kopen en zijn vervalsing daar eenvoudigweg overheen schilderen. Om uitsluitsel te geven over de echtheid van een schilderij is naast koolstof 14-datering altijd aanvullend onderzoek nodig. Dat aanvullend onderzoek is de sleutel. Als een schilderij een vervalsing is, zijn er altijd wel dingen die niet kloppen. Maar je weet van tevoren niet waar je precies naar moet kijken. Het is de kunst om geduldig te blijven zoeken – totdat je die ene misser vindt die het bedrog ontmaskert.

De koolstof 14-methode

Onder invloed van kosmische straling uit het heelal wordt er boven in de atmosfeer steeds koolstof-14 aangemaakt. Hierdoor blijft de verhouding tussen het stabiele koolstof-12 en het radioactieve koolstof-14 in de atmosfeer min of meer constant.
Een plant neemt zolang hij leeft koolstof op uit de atmosfeer. Hierdoor komen beide isotopen in de plant voor, in dezelfde verhouding als in de atmosfeer. Dat verandert als de plant wordt geoogst; een dode plant neemt geen koolstof-14 meer op.
Door natuurlijk verval neemt de hoeveelheid koolstof-14 daarna steeds verder af. Door de verhouding tussen het resterende koolstof-14 en koolstof-12 te meten, kunnen onderzoekers de ouderdom van het materiaal bepalen.

OPDRACHTEN

1 Het vernis op een schilderij gaat fluoresceren als er uv-straling op valt. Het vernis zendt dan ook zelf straling uit.

a Tussen welke grenzen ligt de golflengte van de uitgezonden straling? Waaruit leid je dat af?

b Leg uit waarom het niet verstandig is om een schilderij langdurig aan sterke uv-straling bloot te stellen.

2 Bij het onderzoeken van oude schilderijen worden vaak röntgenfoto's gemaakt. Het schilderij wordt daarvoor plat neergelegd, met de röntgenbron er een eindje boven en de stralingsdetector er vlak onder.

a Leg uit of het uitmaakt dat de onderzoeker het schilderij 'met de goede kant omhoog' legt of 'met de goede kant naar beneden'.

b Hoe komt het dat de onderschildering op een röntgenfoto vaak goed te zien is, terwijl de verflagen daarboven vrijwel onzichtbaar zijn?

c Kun je op een röntgenfoto ook zien in welke laag een bepaald pigment is gebruikt? Leg uit waarom wel of waarom niet.

3 Zoek op internet een *carbon dating calculator*.

a Het doek van een schilderij bevat nog 95% van de oorspronkelijke hoeveelheid koolstof-14.
Hoe oud is het linnen?

b Een bekend schilderij van de Italiaanse schilder Giotto is rond 1310 geschilderd op een houten paneel.
Het percentage van de oorspronkelijke hoeveelheid koolstof-14 in het hout is nu op zijn hoogst ....%.

c Leg uit waarom er in opdracht b 'op zijn hoogst' staat.

Leerstofoverzicht

6.1 ELEKTROMAGNETISCHE STRALING

ONTHOUD

- Elektromagnetische golven ontstaan bij een antenne doordat elektronen daar zeer snel op en neer bewegen. In de antenne van de ontvanger worden door die elektromagnetische golven weer elektronen in beweging gebracht.
- Elektromagnetische golven bewegen van de bron af in alle richtingen. Ze planten zich zelfstandig voort, ook door een vacuüm.
- Elektromagnetische golven hebben in vacuüm altijd dezelfde snelheid: $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s. Deze snelheid wordt de lichtsnelheid genoemd en heeft een eigen symbool: *c*.
- Als je de frequentie van een golf van elektromagnetische straling weet, dan kun je uitrekenen hoe groot de golflengte is met de formule: $\lambda = \frac{c}{f}$
- Iedere soort elektromagnetische straling kenmerkt zich door de frequentie met een bijbehorende golflengte. Met afnemende grootte van golflengte zijn de volgende zes soorten elektromagnetische straling te onderscheiden: radiogolven, ir-straling, licht, uv-straling, röntgenstraling en gammastraling.
- Uv-straling, röntgenstraling en gammastraling zijn ioniserende straling. Zij kunnen moleculen kapotmaken. Radiogolven, ir-straling en licht kunnen dit niet.

BEGRIPPEN

elektromagnetische golven
Golven met een hoge frequentie die ontstaan als gevolg van een wisselstroom. Ze maken de overdracht van informatie mogelijk door de lucht, zoals bij mobiele telefoons.

frequentie
Het aantal golven dat per seconde voorbijkomt.

golflengte
De afstand tussen twee golftoppen of tussen twee golfdalen.

ioniserende straling
Straling die moleculen kapot kan maken.

lichtsnelheid
Snelheid van het licht, in vacuüm 299 792 458 ($3{,}0 \cdot 10^8$) meter per seconde.

spectrum
Overzicht waarin verschillende soorten elektromagnetische straling zijn geordend op frequentie.

6.2 LICHT EN LENZEN

ONTHOUD

- Een positieve of bolle lens is in het midden dikker dan aan de randen. Lichtstralen die voor de lens evenwijdig aan de hoofdas lopen, worden afgebogen naar het brandpunt.
- De voorwerpsafstand *v* is de afstand tussen de lens en het voorwerp; de beeldafstand *b* is de afstand tussen de lens en het beeld.
- Je gebruikt voor de constructie van de beeldafstand twee constructiestralen. Constructiestraal 1 gaat door het midden van de lens en verandert niet van richting. Constructiestraal 2 loopt voor de lens evenwijdig aan de hoofdas. Na de lens gaat deze lichtstraal door het brandpunt F van de lens.

BEGRIPPEN

beeldafstand
Afstand tussen de lens en een scherp beeld van een voorwerp.

beeldpunt
Punt van een optisch beeld. In een camera is dit punt de weergave van het bijbehorende punt in de werkelijkheid.

bolle lens
Lens die aan de rand dunner is dan in het midden.

brandpunt
Lichtstralen die voor een lens evenwijdig aan de hoofdas lopen, komen na de lens samen in dit punt.

brandpuntsafstand
Afstand tussen het midden van de lens en het brandpunt.

constructiestralen
Twee lijnen die je kunt gebruiken om een beeld achter een lens te construeren. De lijnen stellen lichtstralen voor.

construeren
Met een tekening op schaal bepalen waar een scherp beeld achter de lens ontstaat.

hoofdas
Lijn die door het midden van de lens loopt, loodrecht op de lens.

lichtbreking
Verschijnsel dat optreedt als een lichtstraal van richting verandert wanneer de straal op het grensvlak tussen twee doorzichtige stoffen valt.

positieve lens
Bolle lens die aan de rand dunner is dan in het midden.

voorwerpsafstand
Afstand tussen de lens en het voorwerp.

6.3 RÖNTGENFOTO'S MAKEN

ONTHOUD

- Als elektromagnetische straling op een voorwerp valt, kan de straling:
  - worden doorgelaten: transmissie;
  - worden gereflecteerd: reflectie;
  - worden opgenomen: absorptie.
- Om een röntgenfoto te maken zijn een röntgenbron en een detectorscherm nodig. Op een röntgenfoto zijn de harde weefsels zoals botten en tanden wit en de zachte weefsel donker.
- Straling die dwars door je lichaam heen gaat richt geen schade aan. Straling die wordt geabsorbeerd, geeft haar energie af aan moleculen in je lichaam die hierdoor kapot kunnen gaan.
- Werknemers die werken met röntgenapparatuur moeten goed worden beschermd. Dit kunnen zij doen door genoeg afstand te houden, of achter een muur met daarin lood te gaan staan.

BEGRIPPEN

absorptie
Opnemen van straling door een voorwerp of een hoeveelheid stof.

detectorscherm
Een plaat met detectoren die gevoelig zijn voor röntgenstraling.

equivalente dosis
Maat voor de biologische schade die ontstaat door de stralingsenergie die het lichaam absorbeert.

reflectie
Weerkaatsen van straling door een oppervlak.

röntgenbron
Apparaat dat röntgenstraling produceert.

transmissie
Doorlaten van straling door een voorwerp of een hoeveelheid stof.

6.4 WERKEN MET GAMMASTRALING

ONTHOUD

- Een radioactieve stof is een stof die sterk ioniserende straling uitzendt.
- De halveringstijd of halfwaardetijd geeft aan hoelang het duurt voordat de helft van de radioactieve stof is omgezet in een andere stof.
- Radioactieve stoffen kunnen zowel deeltjes als elektromagnetische straling uitzenden. Alfastraling en bètastraling zijn beide deeltjesstraling; gammastraling is elektromagnetische straling. Gammastraling heeft het grootste doordringend vermogen, gevolgd door bètastraling en daarna alfastraling, dat het kleinste doordringend vermogen heeft.
- Tracers of radioactieve merkstoffen worden gebruikt om scans van je lichaam te maken. Zij zenden gammastraling uit die door een gammacamera buiten je lichaam wordt opgevangen. Een computer construeert van deze gegevens een beeld.
- Je spreekt van bestraling van je lichaam als straling van een bron door je lichaam heen gaat. Als radioactieve stoffen in of op je lichaam terechtkomen, dan noem je dat besmetting. Van bestraling wordt je lichaam niet radioactief.

BEGRIPPEN

alfastraling
Soort straling die ontstaat na alfaverval. Deze straling heeft een klein doordringend vermogen.

bètastraling
Soort straling die ontstaat na bètaverval. Deze straling heeft een groter doordringend vermogen dan alfastraling, maar minder dan gammastraling.

deeltjesstraling
Stroom zeer kleine deeltjes die met grote snelheid verschillende richtingen op bewegen.

doordringend vermogen
Het vermogen van een soort straling om in een stof door te dringen.

dracht
De maximale afstand die alfa- en bètadeeltjes in een stof kunnen afleggen.

gammacamera
Een camera die beelden maakt op basis van gammastraling.

gammastraling
Soort straling die ontstaat na gammaverval. Deze straling bestaat uit golven die zich voortplanten met de lichtsnelheid en heeft een groot doordringend vermogen.

halveringstijd of halfwaardetijd
Eigenschap van een isotoop die aangeeft in hoeveel tijd de helft van de instabiele atoomkernen vervalt en die aangeeft na hoeveel tijd de activiteit van de bron met de helft is verminderd.

kunstmatig radioactief
Stoffen die kunstmatig radioactief zijn worden kunstmatig (door mensen) gemaakt.

natuurlijk radioactief
Stoffen die natuurlijk radioactief zijn komen in de natuur voor.

radioactief
Benaming van een stof die ioniserende straling uitzendt.

radioactieve besmetting
Situatie waarbij radioactieve stoffen in een lichaam terechtkomen, waardoor het lichaam niet alleen wordt beschadigd, maar zelf een radioactieve bron wordt.

scan
Beeld van het menselijk lichaam dat wordt gemaakt door straling in verschillende richtingen door het lichaam te sturen.

tracer
Radioactieve merkstof. Er kan onderzoek mee worden gedaan naar de werking van specifieke organen. Er kunnen ook tumoren mee worden opgespoord.


Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.

Vaardigheden

GEGEVENS VERZAMELEN EN VERWERKEN
Bij het vak natuurkunde gaat het zowel om kennis (wat je weet) als om vaardigheden (wat je kunt). Bij die vaardigheden horen onder andere het bouwen van proefopstellingen, het verzamelen van meetgegevens, het uitvoeren van berekeningen en het tekenen van grafieken. In dit deel van het boek vind je een overzicht.



1 Onderzoek doen

Het doen van onderzoek begint met een onderzoeksvraag. Je maakt een plan om achter het antwoord te komen, en voert dat plan daarna zelf uit. Daarbij ga je stap voor stap te werk.

Stap 1 **Bedenk een onderzoeksvraag.**
Soms staat de onderzoeksvraag al in de opdracht vermeld. Dan hoef je er alleen maar over na te denken hoe je die vraag kunt beantwoorden. Soms wordt van jou verwacht dat je zelf een onderzoeksvraag bedenkt. Wees daarbij niet te gauw tevreden: je moet wel een idee hebben hoe je je vraag kunt beantwoorden. Formuleer voordat je verdergaat je onderzoeksvraag zo precies mogelijk.

Stap 2 **Maak een werkplan.**
In je werkplan schrijf je op:

- welke grootheden je gaat meten;
- welke materialen en apparatuur je nodig hebt;
- welke opstelling je gaat bouwen (maak een tekening);
- welke metingen je gaat uitvoeren;
- (eventueel) welke formules je gaat gebruiken.

Stap 3 **Uitvoeren en uitwerken.**
Je bouwt de proefopstelling en voert daarmee de geplande metingen uit. Na elke meting noteer je de meetwaarden overzichtelijk, bijvoorbeeld in een tabel. Na afloop werk je de metingen verder uit, bijvoorbeeld door een grafiek te tekenen of door berekeningen te maken. Raadpleeg daarvoor zo nodig de andere vaardigheden.

Stap 4 **Conclusies trekken.**
Als alles goed is gegaan, kun je nu conclusies trekken. Die conclusies vormen samen het antwoord op je onderzoeksvraag. Een conclusie is geen samenvatting van de meetresultaten, maar iets wat je uit die meetresultaten afleidt (concludeert). Vraag je ook af wat er in je onderzoek beter had gekund.

Stap 5 **Een verslag maken.**
Tot slot maak je een verslag van je onderzoek. Zie de vaardigheid *Een verslag schrijven*.

2 Werken met grootheden en eenheden

Een grootheid is iets wat je kunt meten. Voorbeelden van grootheden zijn massa, kracht, weerstand en tijd. Om een grootheid te kunnen meten, heb je een eenheid nodig. Je meet de massa in kilogram, de kracht in newton, de weerstand in ohm en de tijd in seconden.

Vaak past de grootte van een eenheid niet goed bij de grootte van wat je wilt meten. In zo'n geval kun je een voorvoegsel voor de eenheid zetten. In plaats van: "De dikte is 0,0003 meter" schrijf je: "De dikte is 0,3 mm."

Je kunt een voorvoegsel altijd vervangen door een macht van 10 (en omgekeerd). In plaats van: "Door de leidingen te isoleren, bespaar je 4,8 GJ aan warmte" kun je ook schrijven: "Door de leidingen te isoleren, bespaar je $4{,}8 \cdot 10^9$ J aan warmte." Zie tabel 1.

tabel 1 Voorvoegsels en hun betekenis.

voorvoegsel	afkorting	betekenis	voorbeeld
giga	G	10^9	1 GJ = 10^9 J
mega	M	10^6	1 MW = 10^6 W
kilo	k	10^3	1 kN = 1000 N
hecto	h	10^2	1 hPa = 100 Pa
deca	da	10^1	1 dam = 10 m
deci	d	10^{-1}	1 dL = 0,1 L
centi	c	10^{-2}	1 cm = 0,01 m
milli	m	10^{-3}	1 mΩ = 0,001 Ω
micro	µ	10^{-6}	1 µg = 10^{-6} g
nano	n	10^{-9}	1 ns = 10^{-9} s

Soms zijn er voor één grootheid verschillende eenheden in gebruik. Denk aan elektrische energie in joule (J) en kilowattuur (kWh) of aan snelheid in meter per seconde (m/s) en kilometer per uur (km/h). In dat geval is het soms nodig dat je een gegeven van de ene eenheid naar de andere omrekent.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Volgens een consumentenorganisatie verbruikt een gemiddeld Nederlands gezin ongeveer 300 kWh elektrische energie per maand.
Hoeveel is dat in joule?

1 kWh = $3{,}6 \cdot 10^6$ J

300 kWh = $300 \times 3{,}6 \cdot 10^6 = 1{,}08 \cdot 10^9$ J (of 1,08 GJ)

VOORBEELDOPDRACHT 2

Volgens een autofabrikant is de maximale snelheid van zijn topmodel 255 km/h.
Hoeveel m/s is dat?

1 m/s = 3,6 km/h

255 km/h = $\frac{255}{3{,}6}$ = 71 m/s

3 Werken met machten van 10

Bij het vak natuurkunde krijg je regelmatig te maken met getallen die erg groot of juist erg klein zijn. Er is een manier bedacht om dat soort getallen handig op te schrijven. Voor grote getallen gebruik je positieve machten van 10. Voor kleine getallen gebruik je negatieve machten van 10.

positieve machten
$10^1 = 10$
$10^2 = 10 \times 10 = 100$
$10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$
enzovoort

negatieve machten
$10^{-1} = 1/10 = 0{,}1$
$10^{-2} = 1/10 \times 1/10 = 1/100 = 0{,}01$
$10^{-3} = 1/10 \times 1/10 \times 1/10 = 1/1000 = 0{,}001$
enzovoort

Als je dat wilt, kun je een macht van 10 vervangen door een voorvoegsel. In plaats van: “Het vermogen van de centrale is $4{,}75 \cdot 10^8$ W” kun je ook schrijven: “Het vermogen van de centrale is 475 MW.” Reken maar na:
$4{,}75 \cdot 10^8$ W = $475 \cdot 10^6$ W = 475 MW (M = 10^6)

VOORBEELDOPDRACHT
De kerncentrale in Gravelines (Frankrijk) heeft een elektrisch vermogen van 5460 MW. In de praktijk wordt maar 75% van dit vermogen ook echt geleverd. Gemiddeld is 25% van het vermogen niet beschikbaar, vooral vanwege onderhoud.
Bereken hoeveel kWh elektrische energie de kerncentrale in één jaar levert.

75% van 5460 MW = 4095 MW
P = 4095 MW = $4095 \cdot 10^6$ W = $4095 \cdot 10^3$ kW
$t = 365 \times 24 = 8760$ h

$E = P \cdot t$
$= 4095 \cdot 10^3 \times 8760$
$= 36 \cdot 10^9$ kWh

De centrale produceert elk jaar 36 miljard kWh elektrische energie.

tabel 2 Voorbeelden van machten van 10 uit de natuur.

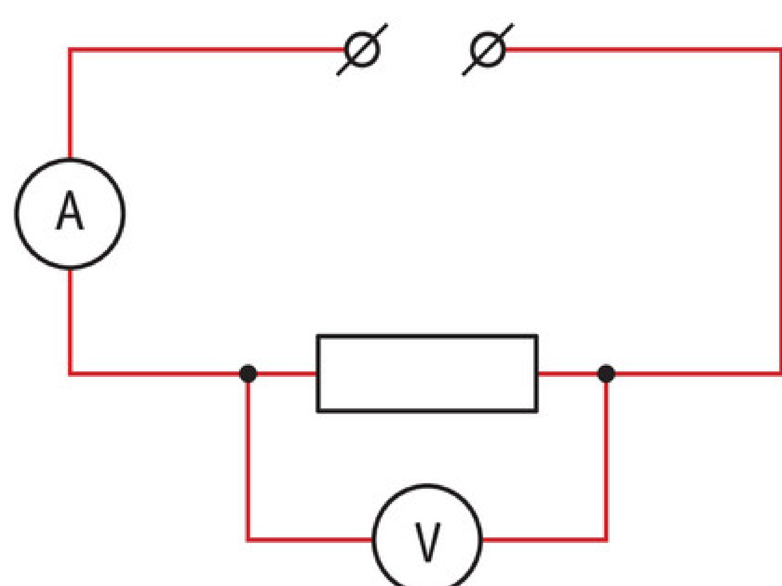
	lengte (m)	massa (kg)	tijd (s)
10^{-10}	diameter atoom		
10^{-9}			
10^{-8}	diameter kleinste virus		
10^{-7}		massa zandkorrel	
10^{-6}	diameter bacterie	massa regendruppel	
10^{-5}	diameter rode bloedcel		
10^{-4}	dikte papier	massa vlieg	duur bliksemflits
10^{-3}			
10^{-2}	dikte vinger	massa muis	
10^{-1}			reactietijd mens
10^{0}	lengte mens	massa pak suiker	tijd tussen twee hartslagen
10^{1}			record 100 m hardlopen
10^{2}	lengte supertanker	massa mens	
10^{3}		massa auto	één kwartier
10^{4}	maximale diepte oceaan		
10^{5}		massa jumbojet	één dag
10^{6}	diameter maan		
10^{7}	diameter aarde		één jaar
10^{8}	afstand aarde-maan	massa supertanker	
10^{9}			levensduur mens
10^{10}			
10^{11}	afstand zon-aarde		ouderdom piramides
10^{12}			moderne mens aanwezig op aarde

4 Werken met meetinstrumenten

Bij het vak natuurkunde werk je met allerlei meetinstrumenten. Om een goede meting uit te kunnen voeren, ga je stap voor stap te werk.

Stap 1 **Bepaal welk(e) meetinstrument(en) je nodig hebt.**
Bij een onderzoek wil je een vraag beantwoorden zoals:
Klopt het elektrisch vermogen dat op dit apparaat is vermeld?
Je weet dat je het elektrisch vermogen kunt bepalen met de formule $P = U \cdot I$. Dat betekent dat je de spanning (U) en de stroomsterkte (I) moet meten. Je hebt dus twee meetinstrumenten nodig: een spanningsmeter en een stroommeter.

Stap 2 **Sluit het meetinstrument aan.**
Stroom- en spanningsmeters moet je correct aansluiten: een stroommeter in serie met het apparaat, een spanningsmeter parallel (figuur 1).
Bij gelijkstroom en -spanning is ook de stroomrichting van belang. Je moet de pluskant van de meter verbinden met de pluspool van de spanningsbron en de minkant met de minpool. Meestal is de pluskant een rood busje en de minkant een zwart busje (figuur 2).



figuur 1 Zo sluit je een spanningsmeter en een stroommeter aan.



figuur 2 Hoe groot is de stroomsterkte?

Stap 3 **Kies het juiste meetbereik.**
Stroom- en spanningsmeters hebben vaak meer dan één meetbereik. De stroommeter in figuur 2 heeft bijvoorbeeld drie meetbereiken: 0 tot 5 A, 0 tot 0,5 A en 0 tot 0,05 A. Je kunt het meetbereik dat je moet gebruiken, als volgt vinden:

- Maak een proefmeting met het grootste meetbereik.
- Kijk hoe groot de stroomsterkte of de spanning ongeveer is.
- Kies het kleinste meetbereik waarbij je de meter nog kunt aflezen.
- Hoe kleiner het gebruikte meetbereik, des te nauwkeuriger is het meetresultaat.

Stap 4 **Lees het meetinstrument af.**

Veel meetinstrumenten hebben een schaalverdeling. Bij het aflezen van zo'n meetinstrument bepaal je eerst hoeveel elk streepje waard is. Daarna lees je zo nauwkeurig mogelijk de meetwaarde af.

Bij de stroommeter in figuur 2 redeneer je bijvoorbeeld als volgt:

- Ik heb het meetbereik van 0 tot 0,5 A gebruikt.
- Tussen 0,3 en 0,4 A zijn er tien tussenruimtes.
- Elk streepje is dus $\frac{0,1}{10}$ = 0,01 A waard.
- De wijzer staat op het zesde streepje.
- De stroomsterkte is dus 0,36 A.

5 Werken met formules

Bij het vak natuurkunde moet je regelmatig berekeningen maken. Ga daarbij stap voor stap te werk.

Stap 1 **Lees de opdracht.**
Lees de opdracht en schat hoe groot de uitkomst ongeveer zal zijn. In de voorbeeldopdracht wordt gevraagd hoelang een waterkoker erover doet om een kop water aan de kook te brengen. Je weet dat je dan enkele tientallen seconden tot een minuut moet wachten. Een paar seconden is duidelijk te weinig en vijf minuten is duidelijk te veel.

Stap 2 **Noteer de gegevens.**
Vertaal alle gegevens in letters en cijfers en noteer ze. Een gegeven zoals '44 kJ energie' noteer je bijvoorbeeld als: $E = 44 \text{ kJ} = 4{,}4 \cdot 10^4 \text{ J}$.

Stap 3 **Schrijf de formule(s) op.**
Sommige formules kun je op verschillende manieren opschrijven. Neem de vorm waarin de grootheid die je wilt berekenen voor het isgelijkteken staat. Je schrijft dus:

- $E = P \cdot t$ als je de hoeveelheid energie (E) wilt berekenen;
- $P = \frac{E}{t}$ als je het vermogen (P) wilt berekenen;
- $t = \frac{E}{P}$ als je de benodigde tijd (t) wilt berekenen.

Stap 4 **Vul de gegevens in.**

Stap 5 **Werk de berekening uit.**

Stap 6 **Noteer de uitkomst.**
De uitkomst is een getal gevolgd door een eenheid. De eenheid moet kloppen met de gegevens. Als je het vermogen invult in watt (W = J/s) en de tijd in seconden (s), dan vind je de hoeveelheid energie in joule (J). Zie ook de vaardigheid *Uitkomsten afronden*.

Stap 7 **Controleer de uitkomst.**
Vergelijk de uitkomst met de schatting die je in het begin maakte. Ga ook na of je geen reken- of overschrijffouten hebt gemaakt.

VOORBEELDOPDRACHT

Om het water voor een kop thee aan de kook te brengen, is 44 kJ warmte nodig. Hoelang doet een waterkoker van 1800 W erover om deze hoeveelheid energie te leveren?

gegevens $E = 44 \text{ kJ} = 4{,}4 \cdot 10^4 \text{ J}$
$P = 1800 \text{ W}$

gevraagd $t = ?$

uitwerking $t = \frac{E}{P} = \frac{4{,}4 \cdot 10^4}{1800} = 24 \text{ s}$

6 Formules herschrijven

Bij het vak natuurkunde gebruik je vaak formules. Zo'n formule kun je op verschillende manieren opschrijven. Soms is de ene vorm handiger, soms de andere. Dat wil niet zeggen dat je al die verschillende vormen moet onthouden. Als je één vorm onthoudt, dan kun je de andere vormen daar snel uit afleiden. Dat noem je de formule herschrijven.

Voor het herschrijven van formules kun je twee wiskundige methoden gebruiken: kruislings vermenigvuldigen en de balansmethode. Neem bijvoorbeeld de formule: $v = \frac{s}{t}$

Stel dat je met deze formule de tijd t wilt berekenen, dan kun je de formule als volgt herschrijven:

Methode 1: Kruislings vermenigvuldigen
Hiervoor schrijf je eerst beide kanten als breuk: $v = \frac{s}{t} \rightarrow \frac{v}{1} = \frac{s}{t}$, want $\frac{v}{1} = v$

Vermenigvuldig kruislings:
$\frac{v}{1} = \frac{s}{t} \rightarrow v \cdot t = s \cdot 1 \rightarrow v \cdot t = s$

Deel nu beide kanten door v: $v \cdot t = s \rightarrow \frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v}$

Vereenvoudig de uitkomst: $\frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v} \rightarrow t = \frac{s}{v}$, want $\frac{v}{v} = 1$

Methode 2: De balansmethode

Hierbij doe je aan beide zijden van het isgelijkteken steeds hetzelfde. Het isgelijkteken betekent namelijk dat aan beide zijden dezelfde waarde staat, bijvoorbeeld: 3 = 3, of $\frac{6}{2} = \frac{3}{1}$ of $v = \frac{s}{t}$

Je mag beide zijden met hetzelfde getal vermenigvuldigen. De waarden aan beide zijden van het isgelijkteken veranderen, maar zijn nog steeds aan elkaar gelijk, bijvoorbeeld: $\frac{6 \cdot a}{2} = \frac{3 \cdot a}{1} \rightarrow 3 \cdot a = 3 \cdot a$

Hetzelfde geldt voor beide zijden delen door hetzelfde getal.

Vermenigvuldig nu in $v = \frac{s}{t}$ beide zijden met t: $v = \frac{s}{t} \rightarrow v \cdot t = \frac{s \cdot t}{t}$

Schrijf $v \cdot t = \frac{s \cdot t}{t}$ als $v \cdot t = s$, want: $\frac{t}{t} = 1$

Deel beide zijden door v: $v \cdot t = s \rightarrow \frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v}$

Schrijf $\frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v}$ als $t = \frac{s}{v}$, want: $\frac{v}{v} = 1$

7 Uitkomsten afronden

De uitkomst van een berekening kan niet nauwkeuriger zijn dan de gegevens die je hebt gebruikt. Daarom moet je de uitkomsten van berekeningen vaak afronden. Anders lijkt het alsof de uitkomst heel nauwkeurig is, terwijl dat in werkelijkheid niet zo is.

In de voorbeeldopdracht is de spanning 134 mV en de stroomsterkte 1,9 mA. Je zegt dat de spanning in drie significante cijfers is gegeven, en de stroomsterkte in twee significante cijfers. Dat betekent dat de stroomsterkte het minst nauwkeurige gegeven is. Daar moet je bij het afronden rekening mee houden.

Je kunt voor het afronden deze eenvoudige vuistregel gebruiken:

De uitkomst krijgt evenveel significante cijfers als het minst nauwkeurige gegeven.

Maar als de uitkomst één significant cijfer meer heeft, wordt dat ook goed gerekend.

Bij het tellen van het aantal significante cijfers moet je speciaal op de nullen letten:
- Nullen aan het begin van een getal tellen niet mee als je het aantal significante cijfers bepaalt: 25 cm heeft evenveel significante cijfers als 0,25 m. De nul aan het begin zegt alleen iets over de grootte van het getal en niets over de nauwkeurigheid. Hij is niet significant.
- Nullen middenin of aan het einde van het getal tellen wel mee voor het aantal significante cijfers. Als je lengte wordt gegeven als 1,80 meter, dan maakt die nul duidelijk dat je lengte is gemeten tot op 1 cm nauwkeurig. Deze nul zegt dus wél iets over de nauwkeurigheid.
- Nog enkele voorbeelden:
  - 2,0 heeft twee significante cijfers en 0,2 heeft maar één significant cijfer;
  - 0,22 en 0,022 hebben allebei twee significante cijfers;
  - 2,02 heeft drie significante cijfers.

Om correct af te ronden kijk je naar het eerste cijfer dat je moet schrappen. Als dat een 5 of meer is, moet je naar boven afronden. Dat betekent dat je het cijfer daarvóór met 1 moet verhogen. Is het cijfer dat je schrapt een 4 of lager, dan hoef je het cijfer daarvoor niet te verhogen.

Als je het antwoord in drie cijfers moet geven:
- rond je 2,345 af op 2,35;
- rond je 2,354 ook af op 2,35;
- rond je 2,395 af op 2,40;
- rond je 2,404 ook af op 2,40;
- enzovoort.

VOORBEELDOPDRACHT

Als er een spanning van 134 mV over een weerstand staat, is de stroomsterkte 1,9 mA. Bereken de weerstand.

gegevens U = 134 mV = 0,134 V
I = 1,9 mA = 0,0019 A

gevraagd R = ?

uitwerking $R = \frac{U}{I} = \frac{0{,}134}{0{,}0019} = 71\ \Omega$

Toelichting

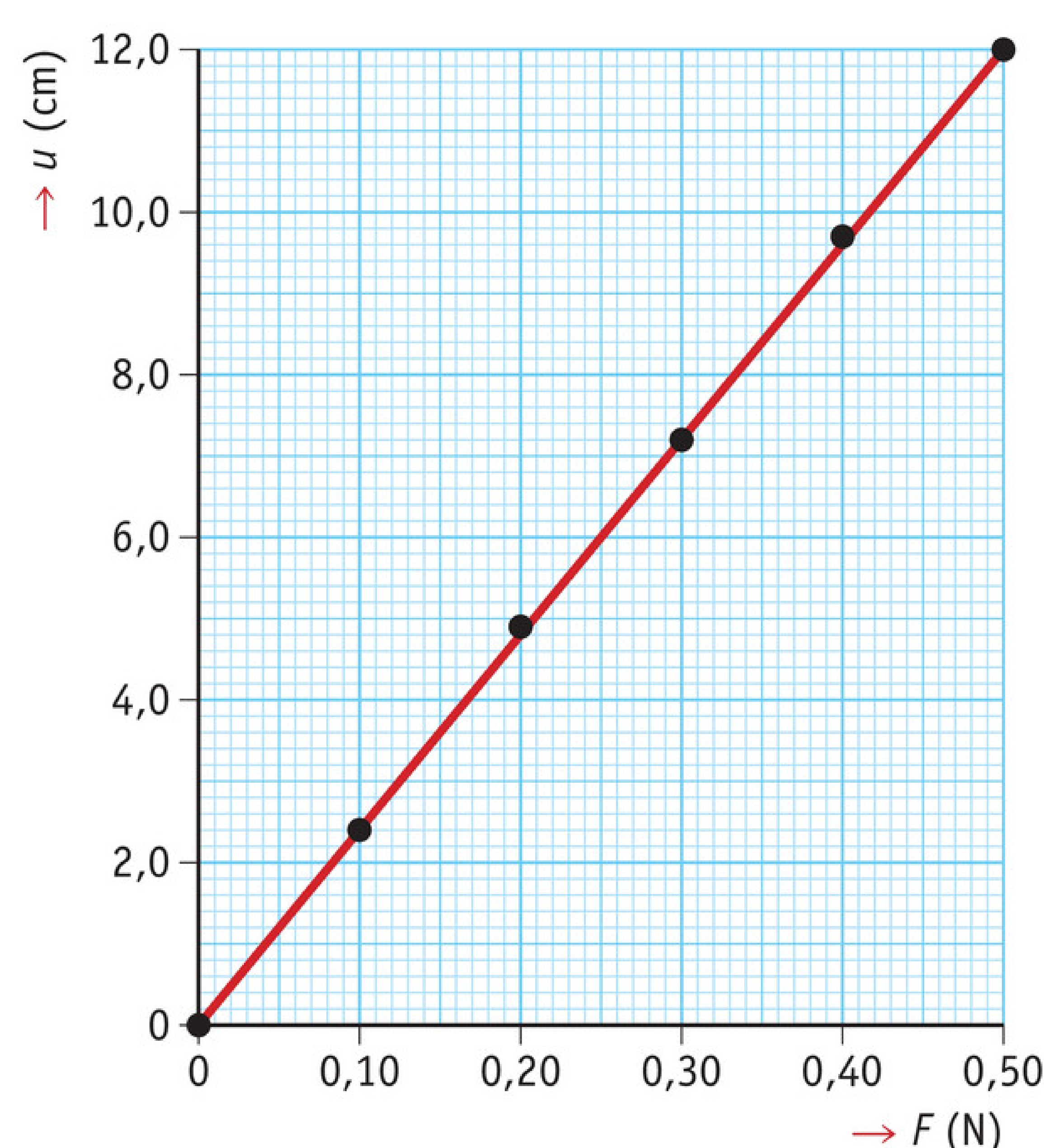
Als je de berekening op een rekenmachine uitvoert, krijg je als uitkomst 70,526 316. Het gegeven I = 1,9 mA heeft het kleinste aantal significante cijfers: twee. Je geeft het antwoord daarom ook in twee significante cijfers. Dus schrap je alle getallen na 70. Omdat het eerste cijfer dat je schrapt een 5 is, verhoog je de 0 daarvoor met 1. De correct afgeronde uitkomst is dus 71 Ω.

8 Werken met tabellen en grafieken

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden. Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag:
Wat is het verband tussen de uitrekking van een veer en de kracht die op de veer wordt uitgeoefend?
Deze vraag gaat over het verband tussen de kracht en de uitrekking.

Om deze vraag te beantwoorden, voer je een serie metingen uit. Je hangt gewichtjes aan de veer en meet elke keer hoe ver de veer daardoor uitrekt. De meetresultaten noteer je in een tabel. Na afloop geef je de meetresultaten in de tabel in een grafiek weer.

Zo'n grafiek maak je als volgt:



figuur 3 Een grafiek van de uitrekking tegen de kracht.

Stap 1 **Teken een assenstelsel.**

Stap 2 **Zet bij elke as een grootheid, met de bijbehorende eenheid.**
Bijvoorbeeld: → *F* (N) en → *u* (cm).

Stap 3 **Zet langs beide assen een geschikte schaalverdeling.**
Zorg ervoor dat de grootste getallen er nog op passen.

Stap 4 **Teken de meetresultaten in als punten.**

Stap 5 **Teken de lijnen in.**
Teken een rechte lijn als de punten (ongeveer) op een rechte lijn liggen. Teken een vloeiende kromme als dat niet zo is. Laat die lijn of kromme zo goed mogelijk bij de punten aansluiten, maar verbind de punten nooit één voor één met elkaar. Het geeft niet dat de rechte lijn of de kromme niet precies door alle meetpunten loopt.

9 Verbanden meten

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden. Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag:
Wat is het verband tussen de uitrekking van een veer en de kracht die op de veer wordt uitgeoefend?
Bij deze vraag zijn de grootheden de kracht (op de veer) en de uitrekking (van de veer).

Hoe meet je nu zo'n verband? Een paar aanwijzingen:

Stap 1 **Maak eerst een tabel waarin je de meetresultaten kunt noteren.**
Noteer links de kracht en rechts de uitrekking.

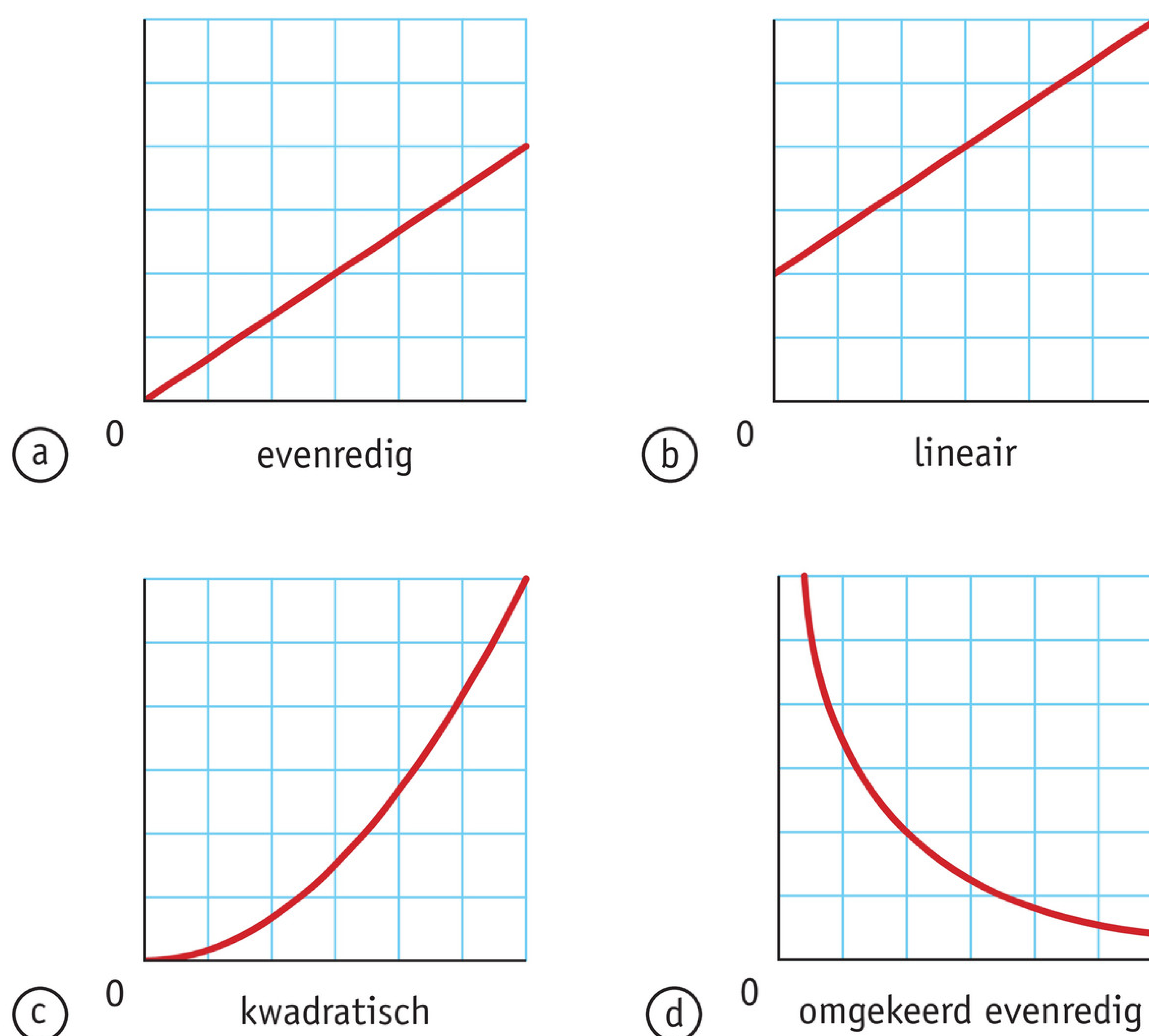
Stap 2 **Kies voor de grootheid in de linkerkolom een stapgrootte van ronde getallen.**
Bijvoorbeeld de volgende waarden van de kracht (in N):
0 0,1 0,2 0,3 0,4 enzovoort.
Dat maakt het gemakkelijker om straks een grafiek te tekenen.

Stap 3 **Noteer de meetwaarden in de tabel: links de kracht (in N), rechts de uitrekking (in cm).**

Stap 4 **Verwerk je metingen tot een grafiek.**
In de vaardigheid *Werken met tabellen en grafieken* kun je lezen hoe dat moet. Zet de kracht langs de horizontale as en de uitrekking langs de verticale as.

Stap 5 **Vergelijk jouw grafiek met figuur 4.**
Daarin zie je hoe een grafiek eruitziet:
a als het verband evenredig is;
b als het verband lineair is;
c als het verband kwadratisch is;
d als het verband omgekeerd evenredig is.

figuur 4 Vier soorten verbanden.



Het (u,F)-diagram van een spiraalveer is een rechte lijn door de oorsprong (figuur 3 in de vaardigheid *Werken met tabellen en grafieken*). Daaraan zie je dat het verband tussen de uitrekking en de kracht bij een spiraalveer evenredig is.

10 Een verslag schrijven

Bij een onderzoek hoort een verslag. In dat verslag leg je uit hoe het onderzoek is verlopen. Iemand die er niet bij is geweest, moet precies kunnen begrijpen wat er allemaal is gebeurd.

Deel je verslag als volgt in:

Titelpagina
Hierop vermeld je de titel van het onderzoek, de namen van de leerlingen in je onderzoeksgroep, de naam van je docent, de datum en het jaartal.

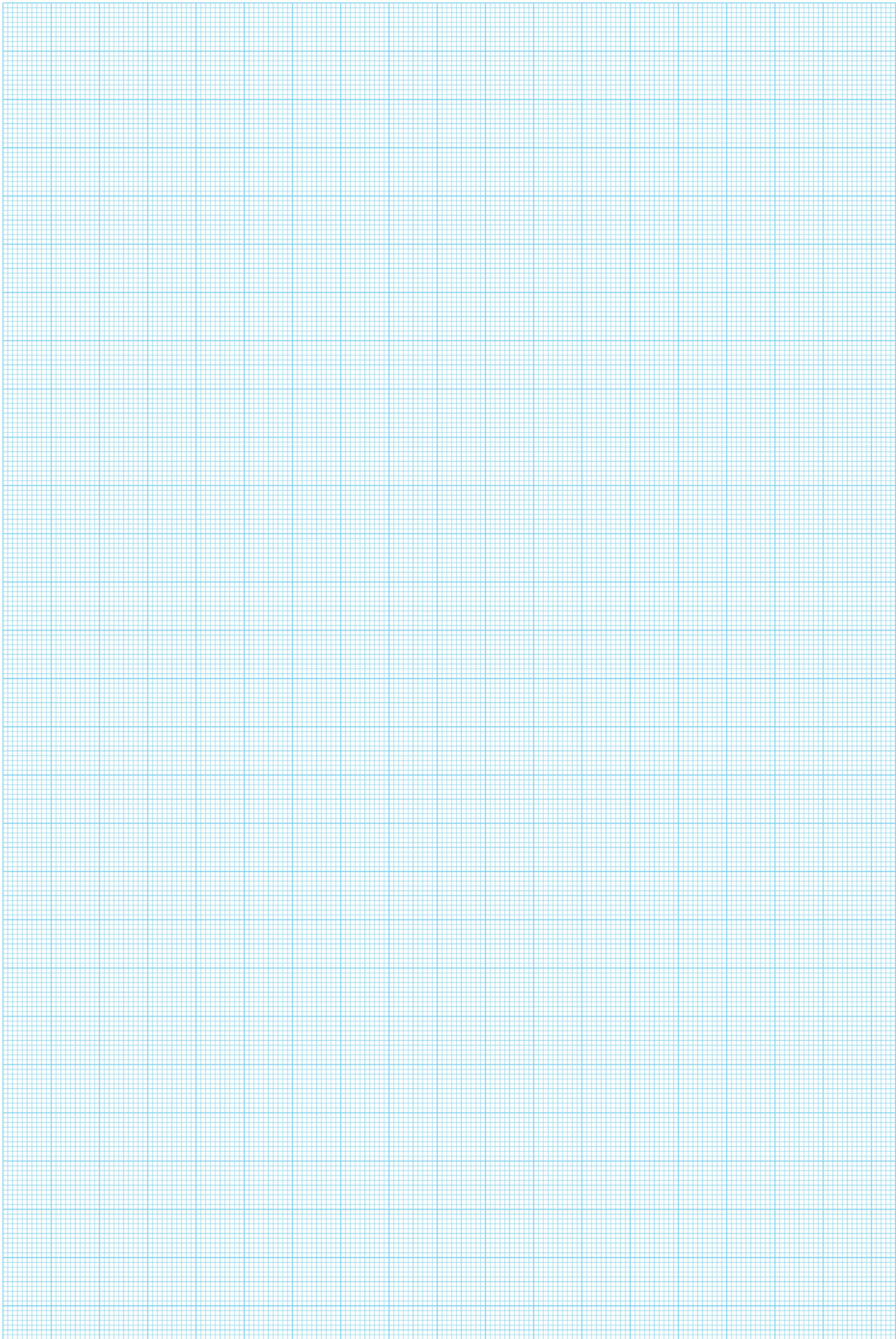
§ 1 Onderzoeksvraag
In deze paragraaf leg je uit welke vraag je met je onderzoek wilt beantwoorden.

§ 2 Werkplan
Hierin staat:
- welke grootheden je hebt gemeten;
- welke practicumspullen je hebt gebruikt;
- wat voor opstelling je hebt gemaakt (maak een tekening of een foto);
- wat je precies hebt gedaan:
  - Welke metingen heb je uitgevoerd?
  - Hoe heb je de meetresultaten verwerkt (tekenen/berekenen)?
  - Welke berekeningen heb je uitgevoerd (inclusief formules)?

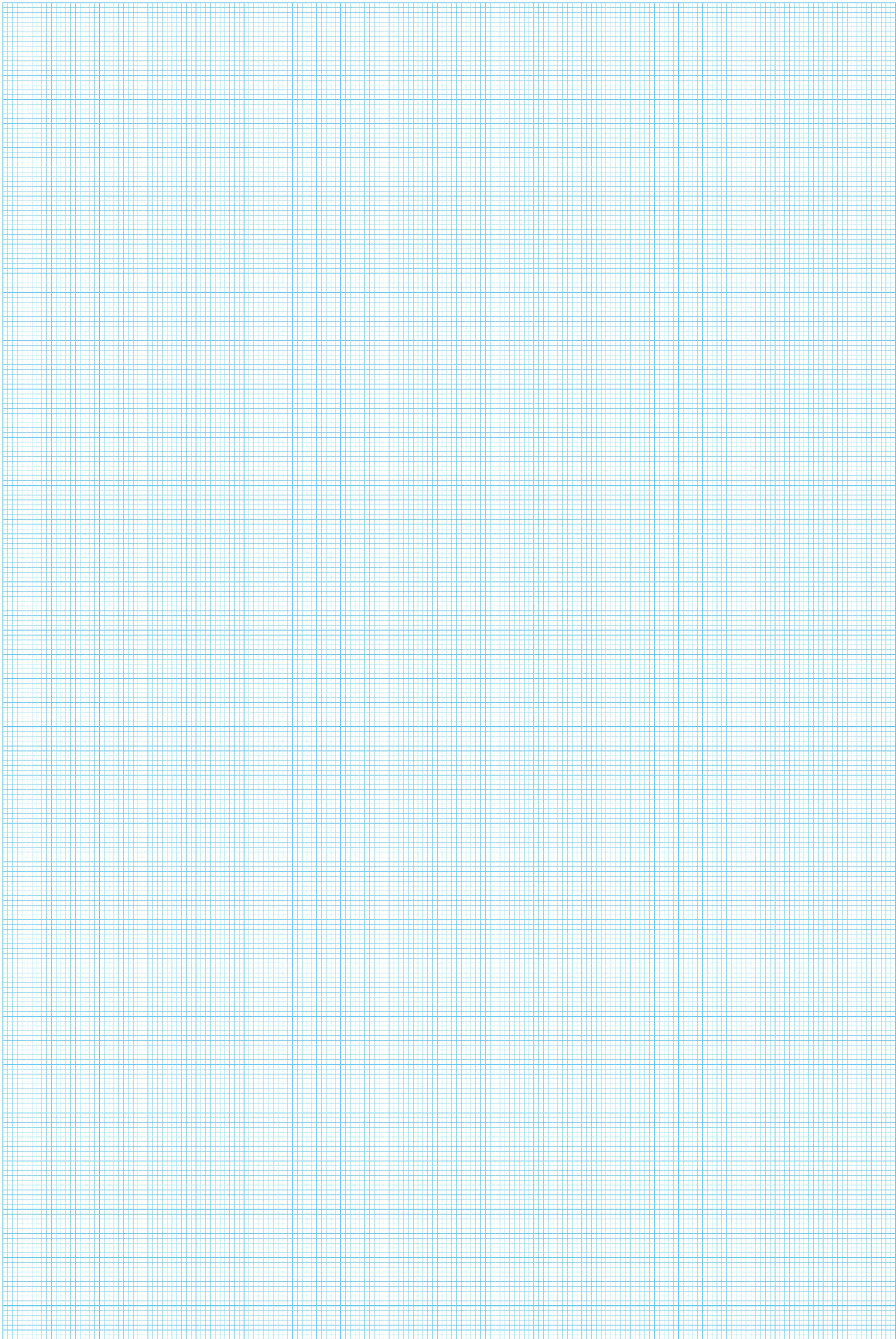
§ 3 Onderzoeksresultaten
Hierin vermeld je wat je hebt waargenomen of gemeten: in de vorm van tekst, tabellen, grafieken, foto's en dergelijke.

§ 4 Conclusies
Hierin staat het antwoord op de onderzoeksvraag. Ook schrijf je op wat er beter had gekund.

Een verslag hoort er goed uit te zien. Het gaat niet alleen om de inhoud van je verslag. Je moet de inhoud ook duidelijk en overzichtelijk presenteren. Een aantal aanwijzingen:
- Gebruik papier op A4-formaat.
- Zorg ervoor dat er ruime marges overblijven: onder en boven, links en rechts.
- Kies een goed leesbaar lettertype, met een goede lettergrootte.
- Zet een vet kopje boven elke paragraaf. Sla daarna een regel over.
- Zorg voor nette tekeningen, tabellen en grafieken. Zet er een nummer bij zodat je ernaar kunt verwijzen.









Register

Achter elk begrip staat de pagina waarop het begrip in de leertekst wordt uitgelegd en de pagina waarop het begrip in het Leerstofoverzicht staat. Begrippen die in de plus-stof staan, staan enkel in de leertekst.

Colofon

ONTWERP BINNENWERK
Pointer grafische vormgeving
Crius Group

ONTWERP OMSLAG
Studio Struis

UITVOERING BINNENWERK
Crius Group

AUTEURS
F. Alkemade
F. Kan
L. Lenders
S. Michon, michon educatie
F. Molin
R. Tromp
P. Verhagen

EINDREDACTIE
C. Biemans, frontlinie.nl

TECHNISCH TEKENWERK
Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Rotterdam;
Erik Eshuis, Groningen

BEELDRESEARCH
B en U International Picture Service, Amsterdam

BEELDVERANTWOORDING
Aberration Films Ltd / Science Photo Library / ANP Foto, Den Haag: Pag. 122/123; Adam Gregor / Shutterstock: Pag. 159 (o); Alan Bean / NASA: Pag. 28 (o); Alf van Beem / Wikimedia Commons: Pag. 69 (b); Amelie Benoist / BSIP / Hollandse Hoogte, Den Haag: Pag. 150 (b); Benoist / Shutterstock: Pag. 40 (b); Bernhard Kunz / Picture Alliance / Imageselect, Wassenaar: Pag. 27 (b); Buzz Pictures / Alamy Stock Photo / Imageselect, wassenaar: Pag. 25 (m/l); Chris Ryan / Caiaimage / Getty Images: Pag. 6/7; Christien van den Akker, Amersfoort: Pag. 23; CROWN COPYRIGHT / Science Photo Library / ANP Foto, Den Haag: Pag. 135; Dario Sabljak / Shutterstock: Pag.129 (o); David Parker / Science Photo Library / ANP Foto, Den Haag: Pag. 158 (m/l); Dept. of Nuclear Medicine, Charing Cross Hospital / Science Photo Library / ANP Foto, Den Haag: Pag. 158 (o); DOMunder, Utrecht: Pag. 116 (b); Elnur / Shutterstock: Pag. 115; Eric Gomez T / Shutterstock: Pag. 137; Erik Eshuis Infographics, Groningen: Pag. 55, 56, 58, 64 (b), 64 (o), 67 (b), 67 (o), 68, 70 (b), 70 (o), 72 (o), 75 (o/r), 80, 81 (b), 81 (o), 82, 87 (b), 89, 90, 91, 92 (b), 92 (o), 93 (o), 94 (b), 95 (m), 95 (o), 99 (b), 99 (o), 100 (b), 100 (m), 100 (o), 102 (b), 102 (o), 103 (b), 103 (o), 103 (b), 105 (b), 106, 109 (b), 111, 113, 116 (o/l), 116 (o/r), 117 (b), 124, 125, 130 (o), 131, 136, 138, 139 (b), 139 (m), 139 (o), 140, 141 (b), 142 (b), 142 (o), 143, 144 (b), 144 (o), 145, 146, 147, 149, 150 (o), 151 (o), 156 (b), 156 (o), 157, 162 (o), 163 (b), 166, 167, 172 (o/l); Evert van Moort / Hollandse Hoogte, Den Haag: Pag. 36; Fitzsimage / Shutterstock: Pag. 18 (o); Flip Franssen / Hollandse Hoogte: Pag. 62/63; Fototocam / Shutterstock, Erik Eshuis Infographics, Groningen: Pag. 98 (b); Franco Origlia / GettyImages: Pag. 159(b); GI Photo Stock Science Source / Imageselect, Wassenaar: Pag. 24 (o); Hannay Reels: Pag. 72 (b); Jacek Kita / Shutterstock: Pag. 74 (b); Jens Schlueter / PPE / DDP: Pag. 71; John Molloy / Image Source / Imageselect, Wassenaar: Pag. 54 (o); John Sibley / Reuters / ANP Foto Den haag: Pag. 35 (b); Johner Images/ RFJohner/F1online / Imagesselect, wassenaar: Pag. 25 (m/r); Joseph Giacomin / Image Source Salsa / F1online / Imageselect, Wassenaar: Pag. 134; Joyce van Belkom / Hollandse Hoogte, Den Haag: Pag. 54 (b); Kia Motors Nederland B.V. , Breukelen: Pag. 28 (b); Kleine Humboldt Galerie, Berlijn: Pag. 171; lightpoet/123RF: Pag. 178; LLC / Alamy Stock Photo / Imageselect, Wassenaar: Pag. 160 (o), 160 (b); Mark Kostich / Shutterstock: Pag. 152 (b), 160 (b); Martyn F. Chillmaid /Science Photo Library / ANP Photo, Den Haag: Pag. 66, 78 (b/l); Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam: Pag. 75 (o/l), 86 (o/l), 87 (o), 183 (o); Olga Popova / Shutterstock: Pag. 155; Owen Weber / Shutterstock: Pag. 141 (o); Pavel L Photo and Video / Shutterstock: Pag. 88; Phanie / Alamy Stock Photo / Imageselect, Wassenaar: Pag. 154, 158 (m/m), 158 (m/r); Purestock / Alamy Stock Photo / Imageselect, Wassenaar: Pag. 163 (o); Rob Engelaar / Hollandse Hoogte, Den Haag: Pag. 31; Robert Crum / iStockphoto: Pag. 24 (b); Samunella / Shutterstock: Pag. 152 (o); Science Photo Library / ANP Foto, Den Haag: Pag. 151 (b); Science Photo Library / ANP Photo, Den Haag, Erik Eshuis Infographics, Groningen: Pag. 78 (b/r); Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Rotterdam: Pag. 9, 10, 11 (b), 11 (o), 12 (b), 12 (o), 14 (b), 14 (o), 15 (b), 15 (o), 16, 17 (b), 17 (m), 17 (o), 18 (b), 19 (b), 19 (o), 20 (b), 20 (o), 21, 22, 26 (b), 26 (o), 27 (o), 29, 30, 32, 33, 38, 39, 40 (o), 43, 44 (o), 45, 46, 47, 49, 52, 57, 69 (o), 73, 74 (o), 76, 77, 83, 84, 85, 86 (o/r), 93 (b/l), 93 (b/r), 94 (o), 98 (o), 101 (o/l), 101 (o/r), 104, 105 (o), 107, 109 (o), 127, 128, 129 (b), 133, 162 (b), 164, 183 (b), 189, 191 (b/l), 191 (b/r), 191 (o/l), 191 (o/r); SPIE Nederland B.V., Breda: Pag. 117 (o); Sportpoint / Shutterstock: Pag. 35 (o); Stadsarchief Amsterdam: Pag. 34; Stephan Roos, Vianen: Pag. 148 (o); Stephan Roos, Vianen / APS Group, Eindhoven: Pag. 130 (b); Trevor Clifford Photography / Science Photo Library / ANP Foto, Den Haag: Pag. 78 (o); Valuavitaly / Dreamstime: Pag. 126; Vereshchagin Dmitry / Shutterstock: Pag. 44 (b); Voler Steger / Science Photo Library / ANP Foto, Den Haag: Pag. 172 b/r), 172 (o/r); Wikimedia Commons: Pag. 173; Wonderisland / Shutterstock: Pag. 148 (b); Yevgeniy11 / Shutterstock: Pag. 97

OMSLAG
Altrendo Images/Hollandse Hoogte

ISBN 978 94 020 6514 5

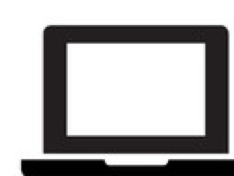
Release 2020, eerste oplage

MALMBERG

MAX


Je mag dit boek houden.
Handig als naslagwerk.


Je mag in dit boek schrijven
en aantekeningen maken.


Je hebt ook toegang tot
de online leeromgeving.

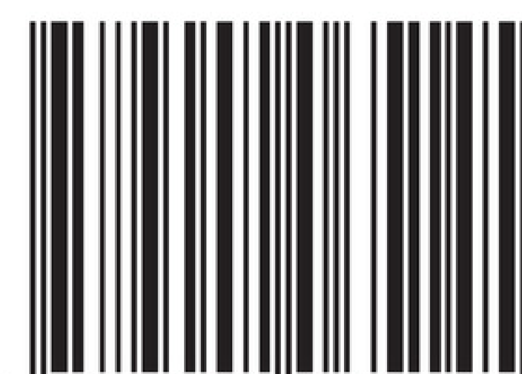
AUTEURS

F. Alkemade
F. Kan
L. Lenders
S. Michon
F. Molin
R. Tromp
P. Verhagen

EINDREDACTIE

C. Biemans

ISBN 978 94 020 6514 5



593628

MALMBERG